



UNIVERZITET U NIŠU

ELEKTRONSKI FAKULTET



Bratislav Predić

**DETEKCIJA I PROAKTIVNA ISPORUKA INFORMACIJA O
SAOBRAĆAJNIM DOGAĐAJIMA U MOBILNIM INFORMACIONIM
SYSTEMIMA ZA PODRŠKU NAVIGACIJI I TRANSPORTU**

- doktorska disertacija -

Mentor

Prof. dr Dragan Stojanović

Niš, 2012.

Autor

Ime i prezime: Bratislav Predić
Datum i mesto rođenja: 09.02.1978. u Nišu
Sadašnje zaposlenje: Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu

Doktorska disertacija

Naslov: Detekcija i proaktivna isporuka informacija o saobraćajnim događajima u mobilnim informacionim sistemima za podršku navigaciji i transportu
Broj stranica: 177
Broj slika: 103
Broj tabela: 6
Broj bibliografskih jedinica: 54
Ustanova i mesto gde je disertacija rađena: Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet
Naučno polje: Tehničko-tehnološke nauke
Naučna oblast: Elektrotehničko i računarsko inženjerstvo
Mentor: Prof. dr Dragan Stojanović

Ocena i odbrana

Broj i datum odluke o prihvatanju teme disertacije: 07/03-004/11-005 od 14.04.2011. godine
Komisija za ocenu podobnosti teme disertacije:

1. dr Dragan Stojanović, Elektronski fakultet u Nišu
2. dr Dejan Rančić, Elektronski fakultet u Nišu
3. dr Leonid Stoimenov, Elektronski fakultet u Nišu
4. dr Slobodanka Đorđević-Kajan, profesor u penziji
5. dr Ivan Vulić, Vojna akademija u Beogradu

Naučni doprinos

- Definisane i razrade koncepta kolaborativnog i anonimnog prikupljanja informacija o saobraćaju i događajima na putnoj mreži.
- Razmatranje značaja i uloge proaktivnih servisa za isporuku saobraćajnih informacija u inteligentnim transportnim sistemima.
- Unapređenje XFCD koncepta prikupljanja podataka o saobraćaju metodama obrade i analize podataka lokalizovanim na mobilnim uređajima u samim vozilima.
- Razvoj arhitekture i implementacija mobilnog GIS-a za navigaciju sa softverskim komponentama za efikasnu analizu podataka sa senzora u svrhu detekcije relevantnih saobraćajnih događaja.
- Predlog rešenja za proaktivnu isporuku informacija o saobraćajnim događajima relevantnim učesnicima u saobraćaju i servisa za podršku sigurnom i efikasnom kretanju/transportu (definisane nove rute, nove navigacione instrukcije, sporija/pažljiva vožnja, itd.) u skladu sa događajima i stanjima na predviđenoj ruti.
- Analiza mogućnosti primene sakupljenih informacija o saobraćaju u svrhu pouzdanog identifikovanja rizičnih događaja i stanja na putnoj mreži, rizičnih aktivnosti i modela ponašanja vozača kroz koncept kolaborativne vožnje.

Spisak korišćenih skraćenica

ABS	Anti-lock Braking System	TIS	Traffic Information System
ADAS	Advanced Driving Assistance Systems	ITS	Intelligent Transport System
CAD	Computer Aided Design	MID	Mobile Internet Device
CALM	Communicaitons Air-interface Long and Medium range	OBD	On-Board Diagnostics
CAN	Controller Area Network	OBU	On Board Unit
CN	Cellular Network	PNA	Personal Navigation Aid
COOPERS	Co-operative Systems for intelligent Road Safety	PND	Personal Navigation Device
DATEX	Data Exchange	POI	Point Of Interest
DAS	Driving Assistance Systems	RDS-TMC	Radio Data System -Traffic Message Channel
EBU	European Broadcasting Union	SMS	Short Message System
ESP	Electronic Stability Programme	TCC	Traffic Control Centre
ESRI	Economic and Social Research Institute	TISA	Traveller Information Services Association
FCD	Floating Car Data	TPEG	Transport Protocol Experts Group
FFT	Fast Fourier Transformation	V2V	Vehicle-2-Vehicle
FIFO	First In First Out	V2I	Vehicle-2-Infrastructure
GIS	Geographic Information System	VANET	Vehicular Ad-Hoc Network
GIS-T	GIS - Transportation	VITP	Vehicular Information Transfer Protocol
GPS	Global Positioning System	XFCD	eXtended Floating Car Data
HMI	Human Machine Interaction	XML	Extensible Markup Language
HMM	Hidden Markov Model		
ISP	Internet Service Provider		

SADRŽAJ

1	UVOD	1
1.1	MOTIVACIJA.....	1
1.2	CILJ ISTRAŽIVANJA	5
1.3	POSTAVKE I METODA ISTRAŽIVANJA.....	7
1.4	REZULTATI ISTRAŽIVANJA	8
1.5	ORGANIZACIJA TEZE	9
2	SAOBRAĆAJNI INFORMACIONI SISTEMI.....	11
2.1	INTELIGENTNI TRANSPORTNI SISTEMI (ITS)	11
2.2	GIS U INTELIGENTNIM TRANSPORTNIM SISTEMIMA.....	15
2.3	IZVORI PODATAKA O SAOBRAĆAJU U SAOBRAĆAJNIM INFORMACIONIM SISTEMIMA	19
2.4	RAZMENA SAOBRAĆAJNIH PODATAKA I OBAVEŠTENJA	23
3	VOZILO I MOBILNI RAČUNARSKI UREĐAJ KAO IZVORI SAOBRAĆAJNIH INFORMACIJA.....	35
3.1	SOCIJALNE MREŽE U DOMENU SAOBRAĆAJA	39
3.2	LOKACIONI PODACI O KRETANJU VOZILA - <i>FLOATING CAR DATA</i>	44
3.3	VOZILA KAO MOBILNI SENZORSKI ČVOROVI.....	49
3.4	<i>EXTENDED FLOATING CAR DATA</i> – AKCELEROMETAR KAO IZVOR SAOBRAĆAJNIH PODATAKA	58
4	LOKALIZOVANA DETEKCIJA SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA NA MOBILNIM UREĐAJIMA.....	75
4.1	KLASIFIKACIJA SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA	76
4.2	KORIŠĆENJE AKCELEROMETRA I GPS PRIJEMNIKA U DETEKCIJI SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA	78
4.3	ANALIZA PODATAKA SA AKCELEROMETRA ZA RELEVANTNE SAOBRAĆAJNE DOGAĐAJE	82
4.4	EKSTRAKCIJA KARAKTERISTIKA I KLASIFIKACIJA PODATAKA SA AKCELEROMETRA	89
4.5	LOKALIZOVANA ANALIZA PODATAKA SA AKCELEROMETRA NA MOBILNIM KLIJENTSKIM UREĐAJIMA.....	106
4.5.1	<i>Preprocesiranje</i>	110
4.5.2	<i>Efikasna korelacija sa uzorcima saobraćajnih manevara</i>	122
4.6	ANDROID APLIKACIJA/SERVIS ZA ANALIZU PODATAKA SA AKCELEROMETRA	126
5	PROAKTIVNI SAOBRAĆAJNI INFORMACIONI SERVIS	135
5.1	PROAKTIVNA ISPORUKA SAOBRAĆAJNIH INFORMACIJA.....	136
5.2	PROSTORNO I VREMENSKO GRUPISANJE DETEKTOVANIH SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA	148
6	EVALUACIJA SISTEMA I VALIDACIJA METODA DETEKCIJE SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA	159
6.1	UTICAJ BRZINE I TIPA VOZILA NA DETEKCIJU SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA	159
6.2	ANALIZA PERFORMANSI I KORIŠĆENJA RESURSA MOBILNOG SISTEMA ZA DETEKCIJU SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA	162
7	ZAKLJUČAK	167

7.1 REZIME ISTRAŽIVANJA I DOPRINOS DISERTACIJE.....	167
7.2 PRAVCI DALJEG ISTRAŽIVANJA	170
8 LITERATURA	171
9 SAŽETAK.....	175
10 SUMMARY.....	177
11 BIOGRAFIJA.....	179

INDEKS SLIKA

SLIKA 2.1 APSTRAKTNI MODEL NA KOME SU ZASNOVANI INTELIGENTNI TRANSPORTNI SISTEMI	12
SLIKA 2.2 KONCEPTUALNI MODEL ITS KOJI KAO KRAJNI PRODUCT IMA EFIKASNOST I BEZBEDNOST.....	13
SLIKA 2.3 ARCINFO, GENERALNI GIS KOMPANIJE ESRI SA DODACIMA NAMENJENIM ANALIZI TRANSPORTNIH SISTEMA	18
SLIKA 2.4 TRANSGIS, SPECIJALIZOVANI GIS U DOMENU TRANSPORTA.....	19
SLIKA 2.5 NEAR-VIEW PANEL PROJEKTA TRAFFICVIEW SA SIMBOLIČKIM PRIKAZOM VOZILA ISPRED	21
SLIKA 2.6 PRIMER RASPOREDA STATIČKIH SAOBRAĆAJNIH SENZORA	21
SLIKA 2.7 PEER-TO-PEER KOMUNIKACIJA KORIŠĆENJEM V2I KOMUNIKACIONE INFRASTRUCTURE (SANTA 2009)	24
SLIKA 2.8 LOKACIONO-ZASNOVANA RAZMENA PORUKA U VANET-U I OBRADA U VAHS GRUPI PEER-OVA (DIKAIKOS 2007)...	25
SLIKA 2.9 PRIMER DATEX PORUKE.....	27
SLIKA 2.10 PRIMER TPEG PORUKE	29
SLIKA 2.11 PRIMERI UPOTREBE CVIS KOMUNIKACIONIH TEHNOLOGIJA (SAFESPOT, 2010).....	31
SLIKA 2.12 BEZBEDNA OBLAST OKO VOZILA (“SAFETY-MARGIN”) (SAFESPOT, 2010).....	31
SLIKA 2.13 PRINCIP FORMIRANJA LOKALNE DINAMIČKE MAPE OKO VOZILA (SAFESPOT, 2010)	32
SLIKA 2.14 VIZIJA COOPERS SISTEMA.....	33
SLIKA 2.15 DIJAGRAM LOKACIJA KOMPONENTI COOPERS SISTEMA.....	34
SLIKA 3.1 PAKET SENZORA KOJIMA JE OPREMLJENO TEST VOZILO LISA-Q (MCCALL, ACHLER ET AL., 2004).....	36
SLIKA 3.2 KLASSE KONTEKSTNIH INFORMACIJA U DOMENU SAOBRAĆAJA I TRANSPORTA (FUCHS, 2007).....	38
SLIKA 3.3 WAZE SOCIJALNA MREŽA U DOMENU SAOBRAĆAJA I TRANSPORTA	41
SLIKA 3.4 ARHITEKTURA DRIVE AND SHARE (DAS) SISTEMA (LEQUERICA, GARCIA LONGARON ET AL., 2010).....	43
SLIKA 3.5 KORISNIČKI INTERFEJS DAS MOBILNE APLIKACIJE	44
SLIKA 3.6 ARHITEKTURA REMOTE FCD SISTEMA (KRISTIAN TORP, 2005)	46
SLIKA 3.7 REZULTATI TESTIRANJA REMOTE FCD SISTEMA U GRADU AALBORG-U.....	47
SLIKA 3.8 AKTIVNI I PASIVNI FLOATING CAR DATA KONCEPT	48
SLIKA 3.9 REZULTATI SNIMANJA STANJA U SAOBRAĆAJU KORIŠĆENJEM 300 TAKSI VOZILA U BERLINU	49
SLIKA 3.10 LOGIČKA ARHITEKTURA CARTEL PLATFORME	50
SLIKA 3.11 SOFTVERSKA ARHITEKTURA CARTEL PLATFORME	51
SLIKA 3.12 PRIMENA CARTEL PLATFORM U DOMENU GRADSKOG SAOBRAĆAJA	52
SLIKA 3.13 ARHITEKTURA VTRACK SISTEMA	54
SLIKA 3.14 PRIMER PUTANJE SNIMLJENE WIFI METODOM LOCIRANJA I POREĐENJE ENERGETSKE ZAHTEVNOSTI OVOG I GPS METODA LOCIRANJA (THIAGARAJAN, 2009).....	54
SLIKA 3.15 PREPROCESIRANJE NIZA NEPRECIZNIH LOKACIJA (THIAGARAJAN, 2009).....	55
SLIKA 3.16 KOMPONENTE MOBILNOG SENZORSKOG ČVORA (U VOZILU)	60
SLIKA 3.17 PROSEČNA POTROŠNJA SMARTPHONE UREĐAJA UZ KORIŠĆENJE POJEDINIH TIPOVA SENZORA I TELEKOMUNIKACIONIH TEHNOLOGIJA (PRASHANTH MOHAN, 2008).....	64
SLIKA 3.18 PRINCIP REORIJENTACIJE AKCELERACIONOG SENZORA	65
SLIKA 3.19 FREKVENTNE KARAKTERISTIKE ZVUKA SNIMLJENE AUTOMOBILSKE SIRENE	66
SLIKA 3.20 POTHOLEPATROL ARHITEKTURA (ERIKSSON, GIROD ET AL., 2008)	67

SLIKA 3.21 EFEKAT ISTE UDARNE RUPE NA AKCELERACIONI SENZOR MONTIRAN NA RAZLIČITIM POZICIJAMA U VOZILU (ERIKSSON, GIROD ET AL., 2008).....	69
SLIKA 3.22 FILTRI DETEKTORSKE KOMPONENTE <i>POTHOLEPATROL</i> SISTEMA	71
SLIKA 3.23 PODRAZUMEVANA POZICIJA I ORIJENTACIJA MONTIRANOG MOBILNOG TELEFONA SA UGRAĐENIM AKCELERACIONIM SENZOROM	72
SLIKA 3.24 PRIMER FORMIRANOG DIJAGRAMA ZA MANUELNO OZNAČAVANJE	73
SLIKA 3.25 LINEARNA KOREKCIJA EKSTRAHOVANIH KARAKTERISTIKA SIGNALA U ZAVISNOSTI OD BRZINE KRETANJA VOZILA.....	73
SLIKA 3.26 PROZORI SA IDENTIFIKOVANIM ANOMALIJAMA DOBIJENI KLASIFIKACIJOM	74
SLIKA 4.1 ORIJENTACIJA OSA INTEGRISANOG AKCELERACIONOG SENZORA	79
SLIKA 4.2 ELIMINISANE JEDNOSMERNE KOMPONENTE UTICAJA SILE GRAVITACIJE NA SIGNALE SA AKCELERACIONOG SENZORA	80
SLIKA 4.3 KONTROLA TOKA PRIKUPLJANJA PODATAKA SA AKCELERACIONOG SENZORA U DESKTOP AVL KLIJENTU TOKOM JEDNE OD TEST VOŽNJI	81
SLIKA 4.4 IZBEGAVANJE PREPREKE U LEVO	83
SLIKA 4.5 NAGLO KOČENJE.....	85
SLIKA 4.6 BOČNO PROKLIZAVANJE U LEVU STRANU (SA PODUPRAVLJANJEM)	86
SLIKA 4.7 NAGLA PROMENA TRAKE (IZ DESNE U LEVU)	87
SLIKA 4.8 PRELAZAK PREKO ŠINA	89
SLIKA 4.9 DIJAGRAM KLASA <i>FEATUREEXTRACTOR</i> BIBLIOTEKE	93
SLIKA 4.10 PROCEDURA EKSTRAKCIJE KARAKTERISTIKA PODATAKA IZ BAFERA.....	95
SLIKA 4.11 IMPLEMENTIRANE KLASSE ZA EKSTRAKCIJU POJEDINAČNIH KARAKTERISTIKA	96
SLIKA 4.12 INICIJALIZACIJA POSTUPKA GENERISANJA KARAKTERISTIKA	97
SLIKA 4.13 PRIMER STRUKTURE ARFF DATOTEKE	98
SLIKA 4.14 UČITANI PROZORI SA KARAKTERISTIKAMA I MANUELNO OZNAČENE KLASSE	100
SLIKA 4.15 RASPODELA VREDNOSTI STANDARDNE DEVIJACIJE PO Z OSI ZA KLASSE MANEVARA	101
SLIKA 4.16 RASPODELA VREDNOSTI ENTROPIJE PO X OSI ZA KLASSE MANEVARA.....	101
SLIKA 4.17 FORMIRANO STABLO ODLUČIVANJA J48 KLASIFIKATORA.....	102
SLIKA 4.18 KONFUZIONA MATRICA I MERE USPEŠNOSTI J48 KLASIFIKATORA.....	103
SLIKA 4.19 KONFUZIONA MATRICA I MERE USPEŠNOSTI NAIVNOG BAYES-OVOG KLASIFIKATORA	103
SLIKA 4.20 KONFUZIONA MATRICA I MERE USPEŠNOSTI KNN KLASIFIKATORA (IB1).....	104
SLIKA 4.21 KONFUZIONA MATRICA I MERE USPEŠNOSTI KNN KLASIFIKATORA (IB3).....	104
SLIKA 4.22 REALNA SNIMLJENA RUTA SA LOKACIJAMA IDENTIFIKOVANIH SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA	106
SLIKA 4.23 PRIMER FIFO BAFERA KORIŠĆENOG ZA ANALIZU I DETEKCIJU.....	109
SLIKA 4.24 TOK PODATAKA U LOKALIZOVANOJ ANALIZI I DETEKCIJI.....	110
SLIKA 4.25 DEORIJENTISAN KOORDINATNI SISTEM (SLOBODNO ZAROTIRAN MOBILNI UREĐAJ).....	112
SLIKA 4.26 KOMPONENTE VEKTORA SILE GRAVITACIJE U DEORIJENTISANOM KOORDINATNOM SISTEMU MOBILNOG UREĐAJA... ..	112
SLIKA 4.27 PRINCIP ROTACIJE KOORDINATNOG SISTEMA POMOĆU EULER-OVIH UGLOVA.....	113
SLIKA 4.28 ROTACIJA OKO NOVE (x') OSE.....	113
SLIKA 4.29 POKLAPANJE Y-OSE ROTACIJOM ZA UGAO γ	114

SLIKA 4.30 AUTOKORELACIJA PODATAKA SA X-OSE ZA UZORAK MANEVRA IZBEGAVANJA PREPREKE KOJA SE KORISTI KAO REFERENTNA	122
SLIKA 4.31 DETEKCIJA "SIMETRIČNIH" MANEVARA KUMULATIVNOM KROSKORELACIJOM	124
SLIKA 4.32 VREDNOSTI CCR PRILIKOM KORELACIJE RAZLIČITIH MANEVARA	125
SLIKA 4.33 VEZE <i>FEATUREEXTRACTOR</i> BIBLIOTEKE I ANDROID APLIKACIJE	126
SLIKA 4.34 KOMPONENTE ANDROID SERVISA ZA KOMUNIKACIJU SA CENTRALNIM SAOBRAĆAJNIM INFORMACIONIM SERVISOM I KOMPONENTE ZA RAD SA GPS PRIJEMNIKOM.....	128
SLIKA 4.35 PROŠIRENJE BIBLIOTEKE <i>FEATUREEXTRACTOR</i> KLASAMA ZA RAČUNANJE KROSKORELACIJE I RAD SA UZORCIMA	130
SLIKA 4.36 KLASSE KOJE ČINE MOBILNU APLIKACIJU ZA VIZUELIZACIJU REZULTATA ANALIZE I DETEKCIJE.....	132
SLIKA 4.37 KORISNIČKI INTERFEJS MOBILNE APLIKACIJE ZA VIZUELIZACIJU I TESTIRANJE	133
SLIKA 5.1 KONCEPTUALNA ULOGA KOLABORATIVNOG OPAŽANJA U PROAKTIVNOM SAOBRAĆAJNOM INFORMACIONOM SERVISU	135
SLIKA 5.2 RASPORED KOMPONENTI PROAKTIVNOG SAOBRAĆAJNOG INFORMACIONOG SERVISA	137
SLIKA 5.3 DIJAGRAM SEKVENCE INICIJALNOG ZAHTEVA KLIJENTA ZA RUTOM	138
SLIKA 5.4 GLAVNE KLASSE KLIJENTSKE MOBILNE APLIKACIJE ZA NAVIGACIJU.....	140
SLIKA 5.5 KLASSE KOJE IMPLEMENTIRAJU SERVERSKU STRANU PROAKTIVNOG NAVIGACIONOG SERVISA	142
SLIKA 5.6 TRI OSNOVNE TABELE NA OSNOVU KOJIH <i>PGROUTING</i> DODATAK FORMIRA TOPOLOGIJU PUTNE MREŽE	143
SLIKA 5.7 KONAČNA TABELA KOJU <i>PGROUTING</i> DODATAK KORISTI PRILIKOM RUTIRANJA	144
SLIKA 5.8 INICIJALNO ZAHTEVANJE RUTE	146
SLIKA 5.9 PRIKAZ SVIH SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA ODREĐENOG TIPA KOJI SU REGISTROVANI U SISTEMU (PRIJAVLJENI OD STRANE KORISNIKA)	147
SLIKA 5.10 ISTOVREMENO NAVIGIRANJE PO RUTI A) PRVOG KORISNIKA I B) PRIJAVA SAOBRAĆAJNOG DOGAĐAJA OD STRANE DRUGOG KORISNIKA.....	147
SLIKA 5.11 RERUTIRANJE PRVOG KORISNIKA KAO ODGOVOR NA PROMENJENO STANJE U SAOBRAĆAJU NA DODELJENOJ RUTI....	148
SLIKA 5.12 PONAVLJANA RUTA SA LOKACIJAMA DETEKTOVANIH KLASA SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA TOKOM TRI DANA TESTIRANJA	150
SLIKA 5.13 PODACI O SAOBRAĆAJNIM DOGAĐAJIMA SPREMNI ZA GRUPISANJE.....	151
SLIKA 5.14 SPACE-TIME CUBE 3D VIZUELIZACIJA PODATAKA O SAOBRAĆAJNIM DOGAĐAJIMA PRIKUPLJENIH TOKOM TRI DANA TESTIRANJA	151
SLIKA 5.15 PRINCIP RADA DBSCAN ALGORITMA (BIRANT I KUT, 2007)	152
SLIKA 5.16 PRINCIP HIJERARHIJSKOG KLASTEROVANJA OPTICS ALGORITMA (ANKERST, BREUNIG ET AL., 1999).....	153
SLIKA 5.17 UREĐENI NIZ TAČAKA NA KOJIMA SU PRIJAVLJENI SAOBRAĆAJNI DOGAĐAJI SA PRIDRUŽENIM VREDNOSTIMA UDALJENOSTI DOMETA	154
SLIKA 5.18 GUI ALATA WEKA-STPM SA KORIŠĆENIM PARAMETRIMA SMOt ALGORITMA UPOTREBLJENOG ZA KLASTEROVANJE	156
SLIKA 5.19 KLASTERI FORMIRANI OD UZASTOPNIH PRIJAVA SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA.....	157
SLIKA 5.20 SPACE-TIME CUBE PRIKAZ KLASTERA PRIJAVLJENIH SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA.....	157
SLIKA 6.1 UTICAJ KOREKCIJE UZORAKA NA REZULTATE KORELACIJE.....	160

SLIKA 6.2 OPTEREĆENJE MOBILNOG KLIJENTSKOG UREĐAJA TOKOM DETEKCIJE SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA.....	163
SLIKA 6.3 REZULTATI <i>PROFILER</i> ALATA PRIMENJENOG NA MOBILNU APLIKACIJU I MODUL ZA DETEKCIJU	164
SLIKA 6.4 FORMIRANO J48 STABLO ODLUČIVANJA NA OSNOVU PROŠIRENOG SKUPA KARAKTERISTIKA.....	165
SLIKA 6.5 KONFUZIONA MATRICA J48 KLASIFIKATORA SA PROŠIRENIM SKUPOM KARAKTERISTIKA	166

INDEKS TABELA

TABELA 3.1 PREGLED KOMERCIJALNIH REŠENJA SOCIJALNIH MREŽA U DOMENU SAOBRAĆAJA.....	40
TABELA 3.2 PREGLED KARAKTERISTIKA DOSTUPNIH MOBILNIH PLATFORMI ZA KORIŠĆENJE U VOZILIMA.....	42
TABELA 4.1 USPEŠNOST TESTIRANIH KLASIFIKATORA.....	102
TABELA 4.2 IDENTIFIKOVANI MANEVRI (SAOBRAĆAJNI DOGAĐAJI) NA SNIMLJENOJ RUTI.....	105
TABELA 6.1 MAKSIMALNE VREDNOSTI KROSKORELACIJE IZMEĐU RAZLIČITIH TIPOVA UZORAKA I IZVEDENIH MANEVARA (SAOBRAĆAJNIH DOGAĐAJA).....	161
TABELA 6.2 MAKSIMALNE VREDNOSTI KROSKORELACIJE ZA RAZLIČITE TIPOVE VOZILA NAD ISTIM SKUPOM UZORAKA	162

1 Uvod

1.1 Motivacija

Masovna proizvodnja kompaktnih, jeftinih i preciznih prijemnika sistema globalnog pozicioniranja (GPS) je doprinela omasovljenju personalnih navigacionih uređaja (PNA – Personal Navigation Devices) kako na namenskim uređajima tog tipa, tako i na univerzalnim mobilnim računarsko-komunikacionim uređajima (pametni mobilni telefoni – *smartphones*, PDA uređaji i slično). I pored masovne upotrebe u tehnološki razvijenijim državama ovakvi sistemi se baziraju najčešće na statičkim informacijama o putnoj mreži i karakteristikama pojedinih segmenata putne mreže koje se ažuriraju relativno retko. Aktuelna istraživanja tehnologija i tržišta u ovom domenu (Maguire i Frisby, 2009) procenjuju dramatičan rast broja korisnika mobilnih navigacionih pomagala sa 57 miliona u 2010. godini, preko 83 miliona registrovanih pretplatnika 2012. godine na 370 miliona 2015. godine. Procenjeno je da će sledeći značajan korak u razvoju ovih sistema biti uključivanje lokaciono i kontekstno-svesnih servisa. U posmatranom slučaju, najznačajniji aspekt konteksta čine informacije o stanju u saobraćaju (prosečne brzine) na pojedinim segmentima putne mreže, saobraćajni događaji (saobraćajne nesreće i sl.) koje su relevantne za vozača i rutu kojom se kreće. Dinamičke informacije o saobraćaju, zajedno sa informacijama iz specifičnih perioda u prošlosti će činiti osnovu budućih navigacionih servisa koji treba da daju procenu stanja u saobraćaju u neposrednoj budućnosti, omogućiti dinamičko rerutiranje i planiranje puta na osnovu svih ovih informacija.

Koncept prikupljanja dinamičkih informacija o saobraćaju i njihove distribucije vozačima nije nov, a poslednjih godina značajne promene se dešavaju po pitanju izvora saobraćajnih informacija u realnom vremenu i načina distribucije tih informacija vozačima. Tradicionalno, izvori informacija o saobraćaju su statički senzori kojima je putna infrastruktura opremljena. Ovaj pristup zahteva veliku gustinu raspoređivanja senzora i znatno poskupljuje infrastrukturu. Obzirom da su izvori informacija u ovom slučaju statički senzori informacije dobijene na ovaj način su ažurne i pouzdane, ali osnovni razlog zašto ovakvi sistemi nisu rasprostranjeni i nisu dostupni kao izvori dinamičkih informacija širokoj populaciji vozača je ekonomske prirode. Drugi izvor informacija o saobraćaju mogu biti javne službe, preduzeća i organizacije koje učestvuju u

održavanju putne infrastrukture i nadgledanju saobraćaja. Podaci dobijeni iz ovih izvora su samo uslovno dobijeni u realnom vremenu zato što njihova ažurnost i pouzdanost zavisi od manualnog unosa na osnovu planova (npr. radovi na putu) ili izveštaja o npr. saobraćajnim nesrećama. Treća grupa izvora saobraćajnih informacija koja poboljšava pitanje ažurnosti su sama vozila, odnosno vozači i putnici u vozilima. Ovaj način prikupljanja informacija zahteva manualni unos tipa i opisa događaja. Osim što ova aktivnost skreće pažnju vozača ili putnika otvara se i pitanje pouzdanosti informacija prikupljenih na ovaj način. Određeni broj komercijalnih servisa i istraživačkih projekata koristi ovaj koncept nazvan kolaborativna vožnja po kome sami učesnici u saobraćaju generišu informacije o saobraćajnim događajima, a te informacije se redistribuiraju ostalim učesnicima u saobraćaju za koje su te informacije relevantne (događaj na ruti kojom se kreće korisnik i sl.). Neke od postojećih socijalnih mobilnih aplikacija omogućavaju dinamičko rutiranje u saobraćaju pri čemu sami vozači manualno identifikuju saobraćajne događaje (saobraćajna nesreća, patrola, radar, kamera i sl.), a prosečne brzine za svaki segment putne mreže se računaju na osnovu niza tačaka (lokacija, brzina i pravac kretanja) dobijenih sa GPS prijemnika. Za par zemalja postoji kompletna putna mreža kao podloga za saobraćane događaje, dok se za ostale putna mreža dinamički gradi kako se korisnici kreću na osnovu ruta. Ovi sistemi pored inovativnog koncepta socijalne mreže namenjene vozačima imaju sve mane manualnog mehanizma unosa saobraćajnih događaja.

Savremeni mobilni komunikaciono-računarski uređaji koji se koriste za mobilni GIS i navigaciju su opremljeni različitim tipovima senzora (GPS, akceleracioni senzor...). Široka dostupnost paketnog prenosa podataka korišćenjem mreža mobilne telefonije na mobilnim uređajima koji se koriste za navigaciju omogućava masovno prikupljanje podataka o prosečnoj brzini direktno od učesnika u saobraćaju i navigaciji. Koncept je nazvan Floating Car Data (FCD) i informacije o stanju u saobraćaju (zagušenja i redovi čekanja) se dobijaju analizom lokacije vozila i brzine koji se dobijaju sa GPS senzora i prikupljaju u kontrolnom centru. Ovakvi projekti obično uključuju flote vozila koja su opremljena uređajima koji serveru u kontrolnom centru periodično prijavljuju lokaciju i trenutnu brzinu. Analizom ovih podataka na serverskoj strani se formira profil stepena zagušenja za pojedinačne segmente putne mreže i korisnicima nudi usluga dinamičkog planiranja rute na osnovu ovih informacija. Dalje unapređenje FCD koncepta je moguće pridruživanjem podataka sa drugih dostupnih senzora podacima o lokaciji i brzini. Ovo proširenje se naziva eXtended Floating Car Data (XFCD). Mnogi proizvođači automobila

u svojim vrhunskim modelima koriste XFCD concept. Osim informacije o lokaciji i brzini vozila sistem analizira podatke sa eksternog termometra, status brisača, svetlosnih grupa (kratkih, dugih i svetala za maglu) kao i aktiviranje sistema aktivne bezbednosti (ABS, ESP i sl.). Dominantan pristup u oba pomenuta slučaja podrazumeva slanje informacija kontrolnom centru u obliku u kome su prikupljeni sa senzora i njihova analiza na serverskoj strani, kao i postojanje specijalizovanih računarsko-komunikacionih uređaja integrisanih sa sensorima u vozilu.

Konvencionalni softverski sistemi kolaborativne vožnje i socijalne mreže namenjene vozačima implementiraju razmenu poruka između vozača. Manuelni unos ovih poruka koji odvlači pažnju vozača je problematičan korak u ovom procesu i svi budući sistemi će morati da automatizuju proces detekcije relevantnih saobraćajnih događaja i razmene poruka o tim događajima. Integracija GIS-a omogućava anotaciju putne mreže kako informacijama ekstrahovanim iz dinamike kretanja vozila tako i informacijama sa drugih senzora integrisanih na mobilnoj platformi kao što su senzori nivoa buke i osvetljenja, akceleracioni senzori i slično. Zajednička karakteristika prethodno opisanih FCD i XFCD sistema je da najčešće koriste namenski hardver i mobilne klijentske računarske uređaje kao pasivne senzorske čvorove zanemarujući dostupne procesorske kapacitete tih uređaja. Pri tome se podaci šalju u definisanim vremenskim intervalima u obliku u kome su prikupljeni sa integrisanih senzora i analiziraju centralizovano u kontrolnom centru.

U ovoj disertaciji su istraženi proaktivni servisi inteligentnih transportnih sistema kao platforma koja omogućava prikupljanje informacija o stanju u saobraćaju i saobraćajnim događajima od velike grupe anonimnih korisnika pri čemu je detekcija relevantnih saobraćajnih događaja na osnovu podataka sa integrisanih senzora lokalizovana na samim klijentskim mobilnim računarskim uređajima. Na taj način se efikasno koristi sve značajnija procesorska moć mobilnih klijentskih uređaja koji se koriste u navigaciji i povećava skalabilnost celokupnog sistema. Proaktivnost sistema se ogleda u funkcionalnosti dinamičkog planiranja optimalne rute na osnovu stanja u saobraćaju i rerutiranje u slučaju pojave nekog kritičnog saobraćajnog događaja na prethodno isplaniranoj ruti. U ovom procesu se informacije dobijene od korisnika koji učestvuje u sistemu mogu iskoristiti za pružanje adekvatne usluge drugim korisnicima koji se kreću ili će se kretati u toj oblasti.

Komunikacioni aspekt u sistemima ovog tipa može u znatnoj meri ograničiti načine distribucije poruka krajnjim korisnicima. Navigacioni uređaji koji su danas u masovnoj upotrebi koriste RDS-TMC (Radio Data System – Traffic Message Channel) kao izvor obavestenja o saobraćajnim događajima. U pitanju je binarni kompresovani format koji zahteva ažurne tabele za geokodiranje lokacija i distribuira poruke krajnjim korisnicima po broadcast principu bez obzira da li je isporučena poruka relevantna ili ne za korisnika kome se isporučuje. Unapređenja ovog standarda od strane Traveller Information Services Association (TISA) kroz TPEG (Transport Protocol Experts Group) imaju za cilj upravo unapređenje geolociranja korišćenjem WGS84 koordinata i map-matching mehanizama. Osim poruka o stanju u saobraćaju TPEG uvodi i poruke o stanju u javnom transportu, parkiralištima i atmosferskim uslovima. Sam format protokola je prilagođen kako za distribuciju korišćenjem broadcast radija, tako i Interneta paketnim prenosom podataka kroz mreže mobilnih operatera.

Komunikacioni koncepti Vehicle-2-Vehicle (V2V) i Vehicle-2-Infrastructure (V2I) su adekvatniji za upotrebu u proaktivnim saobraćajnim informacionim servisima. Istraživanja na ovu temu se uglavnom fokusiraju na ad-hoc umrežavanje pojedinačnih vozila korišćenjem različitih bežičnih tehnologija i rutiranje poruka između mobilnih čvorova u ovakvim mrežama. Obzirom da je cilj istraživanja u okviru ove disertacije masovan sistem dostupan širokoj vozačkoj populaciji, komunikacione tehnologije nisu fokus i iskorišćen je danas široko dostupan paketni prenos podataka preko mreže mobilnih operatera, kao i centralizovani način obrade i redistribucije poruka o detektovanim saobraćajnim događajima.

Jedan karakterističan primer kombinacije senzora široko dostupnih na današnjim mobilnim platformama koji je iskorišćen u implementaciji koja demonstrira koncept definisan u ovoj doktorskoj disertaciji je kombinacija GPS prijemnika i akceleracionog senzora za detekciju karakterističnih saobraćajnih događaja, njihovog georeferenciranja na putnoj mreži i opis karakteristika saobraćaja. Količina podataka koje se prikupljaju sa ove kombinacije senzora najbolje ilustruje prednosti predloženog koncepta lokalizovane analize na samom mobilnom klijentskom uređaju.

Obzirom da se kod predloženog sistema kao izvor saobraćajnih informacija u realnom vremenu koristi flota anonimnih korisnika bitna pitanja koja utiču na efikasnost predloženih servisa su dodatna obrada detektovanih saobraćajnih događaja prvenstveno kroz agregaciju višestrukog prijavljivanja istog događaja od strane većeg broja korisnika i

integracija sa modelom putne mreže. Ova dodatna obrada prvenstveno ima za cilj eliminisanje lažne pozitivne identifikacije saobraćajnih događaja i povećanja pouzdanosti poruka generisanih na ovaj način.

1.2 Cilj istraživanja

Istraživanje u okviru ove doktorske disertacije je fokusirano na definisanje, projektovanje i implementaciju proaktivnih servisa inteligentnog transportnog sistema koji informacije o karakteristikama saobraćaja na pojedinačnim segmentima putne mreže i saobraćajnim događajima prikuplja od široke grupe korisnika sistema – učesnika u saobraćaju. Prikupljene informacije o saobraćaju sistem koristi kako bi korisnicima pružio uslugu dinamičke navigacije. Pod dinamičkom navigacijom se podrazumeva određivanje rute na osnovu kriterijuma gustine i ostalih karakteristika saobraćaja pored kriterijuma najkraće putanje po putnoj mreži. Proaktivnost servisa se ogleda u rerutiranju ukoliko servis na trenutnoj ruti korisnika detektuje saobraćajni događaj (zagušenje, udes i sl.) koji može značajno promeniti trajanje putovanja. Obzirom da kvalitet proaktivnog servisa direktno zavisi od broja uključenih korisnika cilj predloženog unapređenja XFCDD koncepta je iskoristiti senzore koji su već dostupni na mobilnim računarskim uređejima koji se koriste za navigaciju bez potrebe za dodatnim, specijalizovanim hardverom. Procenjeno je (UC Berkeley's California Center for Innovative Transportation (CCIT) - 100-car experiment (Morito, Hayashi et al., 2008)) da 5% vozila opremljenih mobilnom računarskom platformom sa integrisanim sensorima koji predstavljaju izvor informacija o saobraćaju mogu dovoljno dobro opisati uslove saobraćaja za svaki segment putne mreže. Dodatna prednost predloženog servisa za upotrebu u zemljama u razvoju je nezavisnost od senzora u putnoj infrastrukturi ili samom vozilu ili neophodnost tehnički zahtevnog povezivanja na CAN bus sisteme u vozilu što je preduslov lakog prihvatanja sistema od strane velikog broja vozača.

U implementaciji servisa koji demonstrira koncept predložen u ovoj disertaciji, podaci sa akceleracionog senzora su iskorišćeni kao dopuna pozicionim informacijama prikupljenim sa GPS senzora u cilju detekcije kritičnih saobraćajnih događaja i njihovo vezivanje za tačke na putnoj mreži. Pored prosečnih brzina koje se vezuju za segmente putne mreže ovi, detektovani događaji dodatno doprinose opisu karakteristika saobraćaja na pojedinačnim putnim pravcima. Specifičnost akceleracionog senzora se ogleda u količini informacija koju daje. Ukoliko bi se podaci u ovakvom, sirovom, obliku slali

centralnoj lokaciji sa dovoljnom učestanošću za analizu, što je čest pristup kada se radi samo sa podacima sa GPS senzora, to bi dodatno opteretilo komunikacioni podsistem mobilnog uređaja i ekonomski aspekt ovakvog pristupa bi odbio većinu potencijalnih korisnika čiji je osnovni zahtev potpuna transparentnost ovih, dodatnih servisa. U skladu sa pomenutim karakteristikama i ograničenjima akcelerationog senzora kao izvora informacija neophodno je da kompletna analiza bude lokalizovana na samom mobilnom uređaju pri čemu se kontrolnom centru prijavljuje samo tip detektovanog saobraćajnog događaja sa pridruženim koordinatama i brzinom.

Mnogi projekti iz ovog domena koriste različite senzore u vozilu za detekciju karakteristika saobraćaja. Korišćenje dodatnog, specijalizovanog hardvera je karakteristika koja sprečava omasovljenje ovih sistema. Microsoft Research India koristi senzore na samom mobilnom uređaju u nešto drugačijem, pojednostavljenom obliku. Sistem ima za cilj detekciju gužvi na raskrsnicama pri čemu vozači koriste zvučnu signalizaciju što je karakteristično samo za urbani saobraćaj i to naročito izraženo u Indiji. Pri tome se osnovno oslanjana na analizu signala sa mikrofona. Jednostavna analiza podataka sa akcelerationog senzora ima za cilj samo da aktivira analizu zvuka po potrebi. Cilj analize podataka sa senzora u ovoj doktorskoj disertaciji je efikasna detekcija šireg i generalnijeg skupa saobraćajnih događaja koji su karakteristični kako za urbani tako i za saobraćaj na otvorenom putu. To obuhvata karakteristike saobraćaja (prosečne brzine, tipa i kvaliteta kolovoza), kao i relevantne saobraćajne događaje (naglo kočenje i promena brzine, nagla promena pravca – izbegavanje prepreke, bočno proklizavanje i sl.) pa su i funkcionalnosti predloženih servisa prilagođene ovom domenu.

Validacija mobilne komponente predloženih saobraćajnih servisa uključuje opterećenost procesora mobilnog uređaja kome ta analiza nije primarni zadatak, potrebne memorijske resurse i uticaj na potrošnju mobilnog uređaja (trajanje baterije i zagrevanje uređaja). Obzirom da predloženi sistem mora da bude masovan i prihvaćen od najšireg mogućeg skupa korisnika (vozača), analiza količine podataka koje je potrebno preneti između mobilnog uređaja i kontrolnog centra tokom korišćenja sistema i ekonomski aspekt su posebno analizirani. Analiza obuhvata poređenje sa konvencionalnim metodama prenosa podataka korišćenim kod drugih FCD i XFCD sistema koji vrše centralizovanu analizu podataka sa senzora.

Obzirom da u predloženom unapređenju XFCD koncepta izvore informacija predstavljaju korisnici koji se slobodno kreću po putnoj mreži posebna pažnja tokom

istraživanja je posvećena pouzdanosti prijavljenih dinamičkih saobraćajnih događaja i izbegavanju lažnih pozitivnih detekcija. Obzirom da su dinamički saobraćajni događaji prostorni objekti tačkastog tipa koji su georeferencirani i vezani za putnu mrežu iskorišćen je princip prostorno-vremenskog grupisanja međusobno povezanih prijava u svrhu računanja stvarne lokacije prijavljenog događaja i povećanja pouzdanosti te informacije koja će biti redistribuirana ostalim korisnicima sistema za koje je ta informacija relevantna (nalazi se na njihovoj ruti). Sva analiza koja se tiče pouzdanosti informacije se obavlja u serverskoj komponenti sistema koja je smeštena u kontrolnom centru.

1.3 Postavke i metoda istraživanja

Fokus arhitekture i implementacije sistema unapređenog XFCD koncepta predloženog u ovoj disertaciji su proaktivni servisi koji koriste same učesnike u saobraćaju (mobilne uređaje za navigaciju sa integrisanim senzorima) za detekciju karakteristika saobraćaja i stanja na putu na pojedinim segmentima putne mreže. Mobilna komponenta ovih servisa konkretno koristi GPS i akceleracioni senzor za dodatni opis okruženja vozača, ali bez obzira na to, treba da obezbedi fleksibilnost i otvorenost za integraciju drugih tipova senzora (intenzitet svetla, intenzitet buke i sl.) i njihovu vizuelizaciju u okviru GIS-a.

U projektovanju softvera je korišćena objektno-orjentisana paradigma i UML jezik za modelovanje. U implementaciji su kao osnova korišćeni sistemi za automatsko praćenje flote vozila (GinisAVL) koji su prethodno razvijeni u okviru Laboratorije za računarsku grafiku i geografske informacione sisteme, a koji su u upotrebi kod većeg broja korporativnih korisnika na teritoriji grada Niša.

Metoda po kojoj su obavljena istraživanja, u okviru rada na doktorskoj disertaciji, može se opisati sledećim fazama:

- Uvođenje osnovnih pojmova i uvođenje polaznih postavki na kojima se rad temelji.
- Pregled i analiza arhitektura i karakteristika postojećih inteligentnih transportnih sistema i servisa za detekciju saobraćajnih događaja i isporuku saobraćajnih informacija koje ih opisuju.
- Pregled i analiza istraživanja FCD i XFCD koncepata i njihov uticaj na razvoj saobraćajnih informacionih sistema i servisa.

- Pregled i analiza tipova senzora integrisanih sa mobilnih uređajima, kao i odgovarajućih metoda analize podataka sa tih senzora u cilju otkrivanja relevantnih događaja.
- Dizajn i razvoj mobilne komponente servisa kao senzorskog čvora na putnoj mreži sa posebnim osvrtom na dostupne senzore za opis okruženja vozila i vozača i mogućnost njihovog korišćenja za detekciju relevantnih saobraćajnih događaja.
- Definisane i implementacija metoda geoprostorne analize podataka sa senzora integrisanih na mobilnoj platformi kroz primer akcelerationog i GPS senzora i njegovu primenu u domenu inteligentnih transportnih sistema za detekciju relevantnih saobraćajnih događaja.
- Evaluacija i validacija implementiranih servisa kroz poređenje sa ključnim karakteristikama drugih FCD i XFCD sistema po pitanju upotrebljivosti na mobilnim računarskim uređajima opšte namene.
- Definisane scenarija korišćenja i provera implementiranog demonstratora koncepta.

1.4 Rezultati istraživanja

Na osnovu prethodno izloženog u doktorskoj disertaciji se mogu izdvojiti sledeći rezultati:

- Definisane i razrada koncepta kolaborativnog i anonimnog prikupljanja informacija o saobraćaju i događajima na putnoj mreži.
- Razmatranje značaja i uloge proaktivnih servisa za isporuku saobraćajnih informacija u inteligentnim transportnim sistemima.
- Unapređenje XFCD koncepta prikupljanja podataka o saobraćaju metodama obrade i analize podataka lokalizovanim na mobilnim uređajima u samim vozilima.
- Razvoj arhitekture i implementacija mobilnog GIS-a za navigaciju sa softverskim komponentama za efikasnu analizu podataka sa senzora u svrhu detekcije relevantnih saobraćajnih događaja.
- Predlog rešenja za proaktivnu isporuku informacija o saobraćajnim događajima relevantnim učesnicima u saobraćaju i servisa za podršku sigurnom i efikasnom kretanju/transportu (definisane nove rute, nove navigacione instrukcije, sporija/pažljiva vožnja, itd.) u skladu sa događajima i stanjima na predviđenoj ruti.

- Analiza mogućnosti primene sakupljenih informacija o saobraćaju u svrhu pouzdanog identifikovanja rizičnih događaja i stanja na putnoj mreži, rizičnih aktivnosti i modela ponašanja vozača kroz koncept kolaborativne vožnje.

1.5 Organizacija teze

Posle ovog, uvodnog, poglavlja drugo poglavlje uvodi pojmove inteligentnih transportnih sistema (ITS), geografskih informacionih sistema u transportu (GIS-T) i saobraćajnih informacionih sistema (TIS) i sadrži pregled evolucije ovih sistema sa promenom shvatanja bitnih informacija koje opisuju stanje u saobraćaju. Ovo poglavlje sadrži i pregled konvencionalnih izvora informacija o saobraćaju koje se dalje koriste u analizama ili direktno isporučuju vozačima. Treće poglavlje uvodi koncept aktivnog učešća vozača i vozila u inteligentnim transportnim i navigacionim servisima. U ovom poglavlju su detaljno analizirani FCD i XFCD sistemi kao osnova arhitekture predložene u ovoj disertaciji. U okviru ovog poglavlja dat je i pregled najčešće korišćenih senzora u XFCD sistemima koji dodatno mogu opisati stanje vozila i saobraćaja. U četvrtom poglavlju je analizirana mogućnost analize podataka sa akceleracionog senzora lokalizovane na samom klijentskom mobilnom uređaju, a u svrhu detekcije relevantnih saobraćajnih događaja koji mogu dodatno opisati stanje saobraćaja i putne mreže. U ovom poglavlju su klasifikovani saobraćajni događaji koji se smatraju relevantnim za obaveštavanje drugih učesnika u saobraćaju. Na kraju poglavlja su analizirane karakteristike signala sa akceleracionog senzora za svaku identifikovanu klasu relevantnih saobraćajnih događaja, kao i metode efikasne analize podataka sa akceleracionog senzora na mobilnim uređajima. Relevantni saobraćajni događaji se detektuju u svrhu redistribucije podataka o njima ostalim učesnicima u saobraćaju. Peto poglavlje opisuje proaktivni saobraćajni informacioni servis čiji je ovo zadatak. Glavna karakteristika ovog servisa je proaktivnost i isporuka informacija samo vozačima kojima je ta informacija od interesa. U tu svrhu ovo poglavlje sadrži opise metoda geoprostorne analize lokalizovane u proaktivnom servisu u cilju povećanja pouzdanosti detektovanih saobraćajnih događaja i proaktivne notifikacije korisnika samo o relevantnim događajima. Finalno, šesto poglavlje sadrži evaluaciju i validaciju implementiranih servisa u skladu sa specifičnim zahtevima potpune transparentnosti ovog sistema za krajnje korisnike. Kroz definisanje scenarija upotrebe u ovom poglavlju su analizirane karakteristike mobilne komponente po pitanju efikasnog iskorišćenja procesorskih i memorijskih kapaciteta klijentskih mobilnih uređaja,

minimizacije protoka podataka kroz mobilnu mrežu, minimizacija zauzeća procesora i potrošnje na mobilnom uređaju.

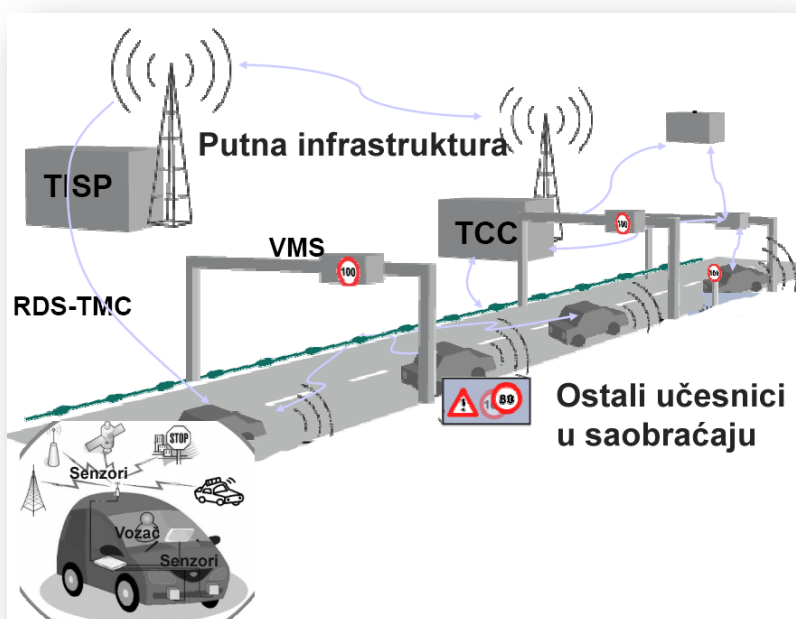
2 Saobraćajni informacioni sistemi

Sve veća mobilnost ljudi i robe, kao i razvoj i zavisnost savremenih ekonomija od sigurnog i efikasnog transporta ističu značaj razvoja mobilnih informacionih servisa za primenu u saobraćaju i transportu. Ovi servisi treba da obezbede podršku kretanju korisnika, transportu ljudi i robe, sa ciljem povećanja efikasnosti u pogledu vremena i neophodnih resursa za obavljanje transporta uz smanjenje rizika od incidenata i nezgoda na putu. Dokaz za ovo su i aktuelna evropska istraživanja u oblasti inteligentnih transportnih sistema, koji su jedan od izazova (Challenge 6) u 7-om okvirnom programu ICT projekata EU, sa glavnim ciljem pod nazivom „ICT for Intelligent Vehicles and Mobility Services“. ERTRAC (European Road Transport Research Advisory Council) je prezentovao dokument pod nazivom Strategic Research Agenda, u kome se predstavlja vizija drumskog transporta do 2020, i iskazuje potreba za odgovarajućim mobilnim informacionim servisima za podršku transportu (ERTRAC, 2010). Ovi servisi su namenjeni mobilnim korisnicima kao podrška u obavljanju poslovnih/turističkih/rekreacionih aktivnosti i u skladu su sa lokacijom, prošlom i predviđenom trajektorijom i kontekstom ovih korisnika. Njihov značaj je presudan i u upravljanju transportom ljudi i robe, obezbeđujući bezbedan i optimalan prevoz uz minimizovanje neophodnih materijalnih, finansijskih i energetskih resursa. Posredna korist od ovih servisa ogleda se i u smanjenju zagađenja izazvanih transportom i potrošnjom fosilnih goriva. Ovi servisi treba takođe da obezbede podršku za upravljanje saobraćajem od strane nadležnih institucija, planiranje i optimalno odvijanje saobraćaja, smanjivanje broja saobraćajnih zastoja, saobraćajnih nesreća, i drugih problema u odvijanju saobraćaja.

2.1 Inteligentni transportni sistemi (ITS)

Konstantno povećanje obima drumskog saobraćaja izaziva iste probleme danas kao i sredinom prošlog veka. Svakog dana, u špicu, milioni vozila širom sveta uspore zbog saobraćajnih gužvi i mile satima do svog odredišta. U ovakvom okruženju saobraćajne nesreće su češće, odnose veliki broj života godišnje, izazivaju materijalnu štetu i dalje učestvuju u kreiranju i intenziviranju saobraćajnih gužvi. Osnovni zadatak inteligentnih transportnih sistema (ITS) je rešavanje ovih problema kroz integraciju transportne infrastrukture, vozila, vozača i službi koje se bave upravljanjem saobraćajem. Kako bi dublje razumeli osnove inteligentnih transportnih sistema i optimizovati process drumskog

saobraćaja potrebno je modelirati entitete koji učestvuju u saobraćaju i na koje se može uticati u cilju poboljšanja efikasnosti transporta. Osnovni entitet u jednom ovakvom modelu je vozilo i vozač u njemu. Takođe, savremena vozila poseduju značajan broj integrisanih senzora koji se mogu iskoristiti u razvoju pomenutih ITS. Druga komponenta ovog modela je okolina vozila. Okolina vozila se sastoji od putne infrastrukture (sa pridruženim sensorima i signalizacijom) i drugih učesnika u saobraćaju. Drugi učesnici u saobraćaju se takođe modeliraju na isti način i predstavljaju vozila sa integrisanim sensorima i vozače. Slika 2.1 prikazuje šematski prikaz prethodno opisanog apstraktnog modela.

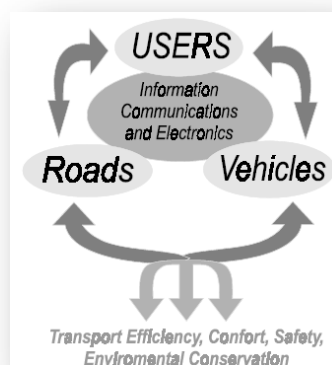


Slika 2.1 Apstraktni model na kome su zasnovani inteligentni transportni sistemi

Na različitim nivoima svoje evolucije inteligentni transportni sistemi su za svoj cilj imali pojedinačno neku od ovih komponenti sistema, a poslednjih godina trend je integracija svih komponenti jednog transportnog sistema u cilju optimalnog upravljanja takvim sistemom i otud naziv inteligentni transportni sistemi. Inicijalni informacioni sistemi u ovoj oblasti su se uglavnom bavili putnom infrastrukturom i sensorima ugrađenim u putnu infrastrukturu. Svrha prikupljanja podataka o saobraćaju na ovaj način je uglavnom bila analiza sa ciljem optimizacije i razvoja putne mreže. Sledeći korak je predstavljalo interaktivno upravljanje saobraćajem kroz prilagodljivu saobraćajnu signalizaciju. Službe za kontrolu saobraćaja su na ovaj način dobile mogućnost

interaktivne izmene režima saobraćaja (dinamička promena ograničenja brzine, dinamička dodela saobraćajnih traka po smeru kretanja u zavisnosti od gužvi, udaljena kontrola semaforne signalizacije itd.) u zavisnosti od trenutnog stanja u saobraćaju koje je opaženo senzorima instaliranim na putnoj infrastrukturi.

Inteligentni transportni sistemi zahtevaju multidisciplinarni pristup i, kako autori u (Figueiredo, 2001) zapažaju, uspešan ITS mora da ima za osnovu konceptualni model koji objedinjuje korisnike, putnu infrastrukturu i vozila. Slika 2.2 prikazuje konceptualni model ITS koji informaciono-komunikacionim tehnologijama spaja putnu infrastrukturu, vozače i vozila i kao efekat ima povećanje efikasnosti, udobnosti i bezbednosti u saobraćaju.



Slika 2.2 Konceptualni model ITS koji kao krajnji product ima efikasnost i bezbednost

Autori u ovom radu identifikuju poslednju dekadu prošlog veka kao period u kome su sve tehnologije bitne za ITS sazrele i to je period koji je omogućio razvoj prvih praktičnih primera aplikacija u ITS-u. Iz iskustava tokom prvih godina ovog veka i konkretne implementacije ITS projekata izdvojilo se nekoliko glavnih primena (aplikacija):

1. Napredni sistemi za upravljanje saobraćajem

Ovo su osnovni ITS sistemi čiji je zadatak unapređenje upravljanja tokom saobraćaja, a u cilju smanjenja saobraćajnih gužvi i kašnjenja. Uključuju senzorski podsistem, kontrolni sistem i podsistem varijabilne saobraćajne signalizacije. Ova kategorija sistema predstavlja i osnovu i izvor podataka za ostale kategorije sistema obzirom da uključuje senzorski sloj za prikupljanje podataka sa same putne mreže.

2. Napredni sistemi za informisanje putnika (Saobraćajni Informacioni Sistemi - TIS)

Sistemi iz ove grupe su orijentisani ka samim putnicima, odnosno vozačima. Na osnovu informacija o stanju u saobraćaju koje se prikupljaju u realnom vremenu putnicima se može preporučiti optimalni tip prevoza, a vozačima preporučiti ruta do odredišta kako bi se izbegle gužve i kako bi se putna infrastruktura ravnomerno opteretila. Obzirom da su korisnički orijentisani, ovi sistemi nude različite metode isporuke informacija putnicima korišćenjem elektronskih displeja i panela, Internet servisa, radio sistema i sl.

3. Sistemi za upravljanje komercijalnim flotama vozila

Problemi koje rešavaju sistemi u ovom domenu su nešto drugačije prirode i podrazumevaju optimizaciju iskorišćenja komercijalnih flota vozila. Ovi sistemi nude funkcionalnosti optimizacije iskorišćenosti flote vozila, analizu pokrivenosti geografske oblasti po konkretnom vozilu iz flote i generalno smanjenje troškova poslovanja.

4. Sistemi za upravljanje javnim saobraćajem

Sistemi u ovoj grupi koriste informacije generisane od strane sistema iz prve dve grupe u svrhu optimizacije mreže javnog prevoza. Vrlo često uključuju podsisteme za usklađivanje svetlosne saobraćajne signalizacije sa rasporedom i kretanjem vozila javnog prevoza radi davanja prioriteta ovom vidu masovnog prevoza i minimizacije gužvi u saobraćaju. Sasvim nezavisni sistemi iz ove grupe se bave optimizacijom naplate u javnom saobraćaju i povećanjem bezbednosti kroz sisteme video nadzora.

5. Napredni sistemi za pomoć u upravljanju vozilom

Sistemi iz ove grupe su izolovani i lokalizovani u pojedinačnim vozilima. Njihov zadatak je detekcija kritičnih i opasnih situacija i autonomna asistencija vozačima u upravljanju vozilom.

Paralelno sa razvojem inteligentnih transportnih sistemima namenjenih službama za kontrolu saobraćaja vodeći proizvođači vozila su počeli da razvijaju sisteme koji koriste senzore u vozilu koji svojim delovanjem mogu da utiču na ponašanje vozila tokom kretanja. Danas poznati kao sistemi aktivne bezbednosti ovi sistemi deluju izolovano i autonomno menjajući komande koje izdaje vozač kada se detektuje kritična situacija u vožnji koja može da ugrozi bezbednost. Osnovna mana ovih sistema je upravo njihova izolovanost. Obzirom da je ljudski faktor, odnosno akcija vozača, najčešći uzrok saobraćajnih nesreća zaobilaznjem ovog faktora u modelu ovi sistemi ne doprinose svesti vozača o njegovoj okolini (stanju u saobraćaju), deluju samo reaktivno i ne mogu sprečiti sve neželjene situacije u saobraćaju.

Savremeni inteligentni transportni sistemi koriste dodatne mogućnosti interakcije vozila i vozača sa putnom infrastrukturom, kao i sa ostalim učesnicima u saobraćaju sa krajnjim ciljem efikasne razmene podataka o saobraćaju između svih učesnika u saobraćaju. Na ovaj način se utiče kako na vozilo, tako i na samog vozača pri čemu se poboljšava njegova svest o okolini (stanju u saobraćaju) i na ovaj način se deluje proaktivno na svest vozača koji se pokazao kao najslabiji element u modelu. Aktualna istraživanja u domenu inteligentnih transportnih sistema se kreću u ovom pravcu. Ova disertacija se bavi mogućnostima optimizacije senzorskog dela inteligentnih transportnih informacionih sistema tako da se sami učesnici u saobraćaju (vozila sa integrisanim sensorima) iskoriste kao dodatni pokretni senzori koji mogu doprineti detaljnijem opažanju stanja u saobraćaju.

2.2 GIS u inteligentnim transportnim sistemima

Obzirom da su svi podaci sa kojima se radi u domenu transporta i saobraćaja inherentno prostorni prirodna je integracija Geografskih Informacionih Sistema (GIS) sa inteligentnim transportnim sistemima u cilju iskorišćenja svih metoda prostorne analize koje GIS donosi. Dobar pregled razvoja ITS-a kroz integraciju sa GIS-om je dat u (Waters, 1999). Autor ovog poglavlja u knjizi identifikuje transportne sisteme kao vrlo značajnu oblast u kojoj GIS nalazi primenu. Često se ova oblast označava skraćenicom GIS-T (GIS-Transportation). Specifičnosti GIS funkcionalnosti u ovom domenu su takve da postoje posebna, specijalizovana, GIS rešenja ili dodaci i proširenja već dobro poznatih i proverenih GIS programskih paketa (Maguire, 1993). Autor ide tako daleko da čak proglašava domen transporta i saobraćaja kao danas najbitniju i najaktuelniju oblast primene GIS-a. Autor označava 90-te godine prošlog veka kao period naglog razvoja GIS-T sistema. Preduslov te masovne upotrebe je predstavljao razvoj jeftinih personalnih računara sa moćnim grafičkim podsistemima koji su omogućili efikasnu vizuelizaciju bitnih elemenata transportnih sistema. Algoritamska osnova GIS-T specifičnih funkcionalnosti je u razvoju algoritama za fleksibilno rutiranje i pronalaženje najkraćeg puta na putnoj mreži, rešavanje transportnog problema u linearnom programiranju (Stopher, 1975), kao i model čvorova i potega sa dinamičkom segmentacijom potega (Church, 1996).

Iako je GIS osnova inteligentnih transportnih sistema relativno rano je uočeno da su konvencionalni sistemi za referenciranje geolokacije na putnoj mreži koji se koriste u

standardnom GIS neadekvatni za efikasnu upotrebu u ITS-u. Sredinom devedesetih godina prošlog veka razvijen je model u kome se putna mreža predstavlja kao planaran ili neplanaran graf, a lokacija mobilnog objekta na putnoj mreži se definiše linearnim referenciranjem kao pređena razdaljina po potegu u odnosu na jedan od čvorova pridruženih tom potegu. Pri tome čvor u odnosu na koji se računa pređeno rastojanje ne mora da ima topološko značenje u modelu putne mreže. Iako model linearnog referenciranja izgleda kao elementaran, autor u (Maguire, 1993) je pokazao da u zavisnosti od parametara koji se uzimaju u obzir, a koji zavise od slučaja upotrebe, mrežni model putne mreže se može segmentirati na više od 45 načina. Pri tome su intervjuisali samo 30 zaposlenih u službi za kontrolu saobraćaja u državi Minesota. Parametri modela putne mreže koji mogu značajno uticati na linearno referenciranje uključuju fizičke i geometrijske karakteristike kolovoza, attribute stanja u saobraćaju i sl. U radu je identifikovano četiri nivoa apstrakcije u modeliranju putne infrastrukture: *jednostavan* u kome su atributi homogeni na potegu mrežnog modela, *usmeren* u kome se atributi razlikuju za svaki od smerova na potegu, *izdvojeni* koji uzima u obzir pomoćne puteve, prilaze, rampe, izdvojene trake puta i koji vrednosti atributa nezavisno vezuje za svaku posebnu traku puta i *komponentni* nivo koji detaljno definiše sve elemente puta kao što su nagib, pešaki elementi, tip kolovoza i sl. Za primenu koja je obrađena u ovoj disertaciji najadekvatniji je mrežni model putne infrastrukture sa linearnim referenciranjem i na usmerenom nivou apstrakcije.

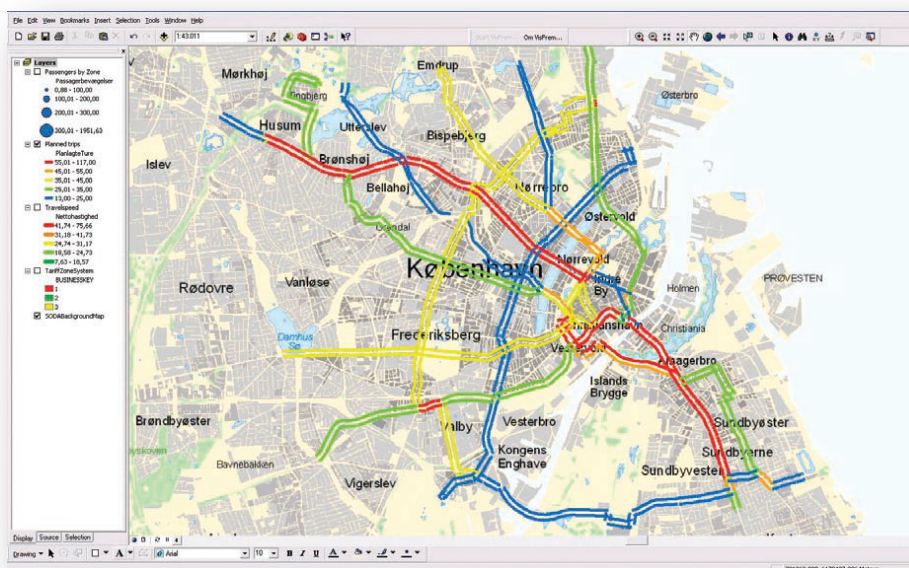
Tipična funkcionalnost koja je najranije rešena u GIS-T sistemima je rutiranje po putnoj mreži sa obilaskom dve ili više tačaka. Rešenja ovog problema se svode na algoritme pronalaženja najkraćeg puta u grafu i algoritme putujućeg trgovca. Mnogobrojni parametri utiču na ove algoritme i u zavisnosti od oblasti primene moraju se uzeti u obzir. Tako na primer, prilikom rutiranja, tačnije pronalaženja najkraćeg puta po putnoj mreži od tačke A do tačke B sa obilaskom tačaka M1, M2 itd., moraju se uzeti u obzir tip vozila, ponekad i vrsta robe koju prevozi, karakteristike ulica kojima će proći, zabrane i zakonska ograničenja za prevoz opasnih materije itd. Prilikom isporuke robe (problem putujućeg trgovca) osnovni problem je minimizacija “mrtvog hoda”, odnosno pređenog puta koji nije u funkciji isporuke (put od/do garaže/magacina). U nekim specijalnim slučajevima kao što je isporuka pošte i sl. gustina naseljenosti osim pređenih razdaljina predstavlja bitan faktor u ravnomernoj raspodeli posla. U ovim slučajevima osnovna metrika je pokrivenost svih delova putne mreže u skladu sa ograničenjima koja mogu biti vrlo specifična u zavisnosti

od domena. Tako na primer, možemo dozvoliti ili zabraniti višestruki obilazak tačaka isporuke ili uvesti ograničenja koji tip vozila može izvršiti isporuku na kojoj tački, uzimajući u obzir nosivost vozila i traženu količinu robe koju treba isporučiti na konkretnoj tački isporuke itd. Sve ovo ukazuje na vrlo velike specifičnosti koje se zahtevaju od nekih naizgled standardnih algoritama obilaska grafa. Upravo iz tog razloga u oblasti GIS-T se najčešće rade specifična softverska rešenja, ili se za standardne GIS pakete razvijaju posebni moduli specifični za domen transporta i saobraćaja.

Još jedna funkcionalnost koja se rano izdvojila uključuje analizu saobraćaja u određenom periodu sa ciljem optimizacije i planiranja razvoja putne infrastrukture. Inicijalno inteligentni transportni sistemi su razvijani upravo u svrhu nadgledanja saobraćaja i generisanja periodičnih izveštaja namenjenih službama koje se bave planiranjem razvoja saobraćajne infrastrukture. Prilikom planiranja takođe se u obzir uzimaju eksterni atributi koji su pridruženi putnoj mreži kao što su socijalne karakteristike i gustina stanovništva, iskazane potrebe stanovništva, stopa kriminala i sl. Prilikom kreiranja statističkih podataka i izveštaja primenu nalaze algoritmi particionisanja, kreiranja klastera i regionalizacije. U domenu kojim se ova disertacija bavi algoritmi grupisanja (kreiranja klastera) su korišćeni radi identifikovanja višestrukih prijava (od strane različitih vozača/vozila) istog događaja, vezivanja prijavljenog događaja za putnu mrežu i povećanja pouzdanosti identifikacije saobraćajnog događaja na osnovu višestrukih prijava od strane nepouzdanih izvora informacija (anonimnih učesnika u saobraćaju).

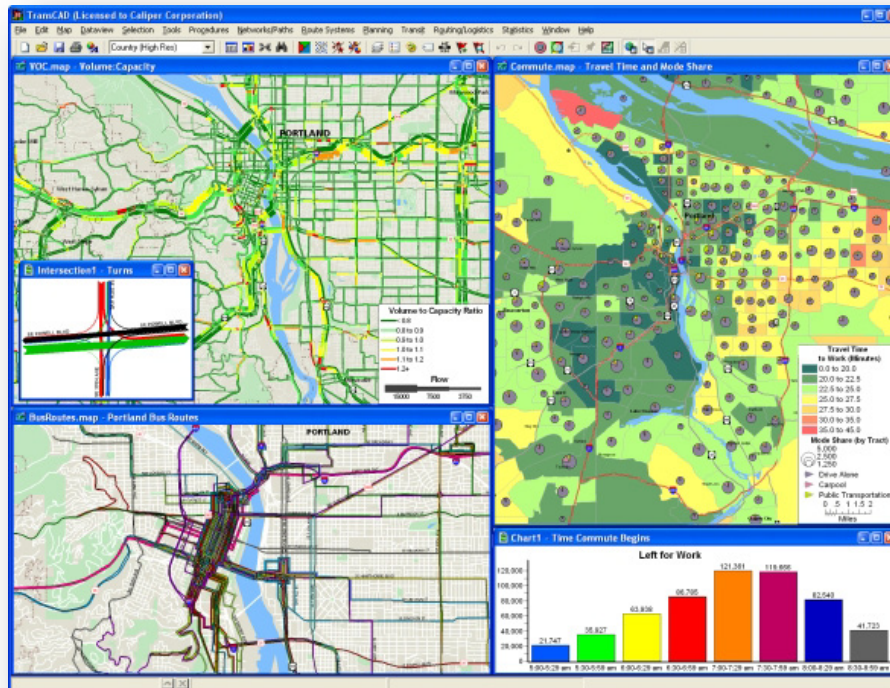
Proveren pristup pri izgradnji GIS-T sistema je baziranje na nekom poznatom i proverenom GIS paketu i njegovo prilagodjenje domenu saobraćaja i transporta korišćenjem dodatka. Mnogi GIS paketi, od besplatnih, preko jeftinih do profesionalnih i vrlo skupih, imaju modularnu arhitekturu i omogućavaju proširivanje njihovih funkcionalnosti razvojem dodatka (plug-in modula). Osnovni moduli ovog tipa koji postoje za većinu opštih GIS paketa nude funkcionalnost mrežne analize sa određivanjem najboljeg puta po različitim kriterijumima (najkraći, najbrži, sa/bez putarina, sa isključenjem puteva određenih kategorija itd.) (Miller, 2001). Primer kompleksnog profesionalnog GIS paketa sa mogućnošću proširenja modulima za mrežnu analizu je ArcINFO kompanije ESRI. *Network Analyst* modul namenjen ovom GIS paketu obezbeđuje prostornu analizu mrežnih modela i osim osnovnih funkcionalnosti rutiranja, lociranja najbližeg objekta po tipu nudi i funkcionalnosti optimizacije obilazaka (problem putujućeg prodavca), optimizacije lokacija objekata po uslovima obilaska i pokrivanja

geografske oblasti pri čemu parametri svi ovih funkcija mogu uključivati dozvoljeni smer ulica, saobraćajne propise, ograničenja visine i težine i sl. Posebnu prednost ovog softverskog paketa predstavljaju moćni alati za formiranje mrežnog modela putne infrastrukture na osnovu postojećih geoprostornih podataka. Slika 2.3 prikazuje ArcINFO paket sa modulima za mrežnu analizu prilagođen potrebama službe za kontrolu gradskog saobraćaja.



Slika 2.3 ArcINFO, generalni GIS kompanije ESRI sa dodacima namenjenim analizi transportnih sistema

Dobar primer specijalizovanog softvera za analizu i planiranje transportnih sistema je TransCAD kompanije Caliper. To je verovatno najčešće korišćen programski paket u ovom domenu u severnoj Americi. Najveću moć TransCAD pokazuje u oblasti analize i planiranja transportne infrastrukture. Uključuje podršku za rad sa svim aktuelnim modelima transportnih podataka: mrežnim modelima putne infrastrukture, matricama i linearnim sistemima referenciranja na putnoj mreži. Osim standardnih funkcionalnosti u ovom domenu kao što su rutiranje po više različitih kriterijuma i problem putujućeg prodavca TransCAD pruža mogućnost particionisanja mreže radi kreiranja servisnih zona. U domenu javnog transporta postoji podrška za analizu multimodalnog načina javnog transporta sa funkcijama analize pokrivenosti u zavisnosti od gustine naseljenosti i analize opterećenosti postojećeg sistema. Slika 2.4 prikazuje TransCAD softverski paket sa različitim modulima za analizu transportnih sistema.



Slika 2.4 TransGIS, specijalizovani GIS u domenu transporta

2.3 Izvori podataka o saobraćaju u saobraćajnim informacionim sistemima

Informacioni sistemi predstavljeni u prethodnom poglavlju uglavnom imaju namenu u analizi performansi i planiranju transportnih sistema i infrastrukture. U pitanju su dugoročne odluke, pa ovi sistemi rade sa geoprostornim podacima koji su statičke prirode i koji se menjaju relativno retko. Tako na primer, geometrija putne mreže, tip i kvalitet kolovoza, zakonska regulativa, statistički podaci o saobraćajnim nesrećama, demografski i meteorološki podaci se često koriste za planiranje i razvoj, a obzirom da se ažuriraju na mesečnom ili godišnjem nivou mogu se smatrati statičkim. Po načinu upotrebe i vremenu generisanja odziva u ovom domenu se izdvajaju Saobraćajni Informacioni Sistemi (TIS). Saobraćajne informacione sisteme, kao podgrupu inteligentnih transportnih sistema pomenutih u prethodnom poglavlju izdvaja svrha upotrebe i očekivano vreme odziva. Od TIS sistema se očekuje generisanje izlaznih podataka kako se promene u karakteristikama saobraćaja dešavaju, a sve sa ciljem direktnog uticaja na ponašanje vozača i tok saobraćaja kako bi se eventualne neželjene posledice promena u toku saobraćaja maksimalno ublažile. Osim implementacije algoritama za analizu saobraćaja ovo podrazumeva i integraciju sa senzorima koji mogu u realnom vremenu pribavljati

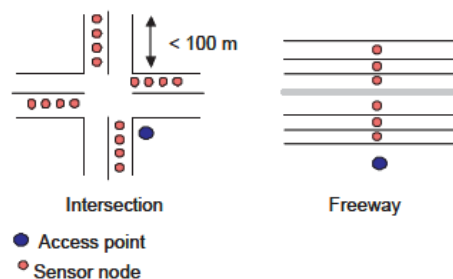
podatke o stanju u saobraćaju, kao i integraciju sa aktuatorima koji u ovom slučaju predstavljaju saobraćajnu signalizaciju. Ovakvom spregom senzora, informacionih sistema i aktuatora se omogućava dinamičko upravljanje saobraćajem promenom ograničenja maksimalne brzine, trajanja signala na semaforima, dinamičkom alokacijom saobraćajnih traka po smeru, sve u zavisnosti od trenutnog detektovanog stanja u saobraćaju, a ne samo na osnovu statističkih podataka u određenim vremenskim intervalima.

Autori u radu (Beresford, 2006) daju dobar pregled funkcionalnosti koje se očekuju od savremenog TIS-a, kao i pregled aktuelnih istraživanja i projekata ovoj oblasti. Autori identifikuju saobraćajne gužve i zagušenja kao osnovni problem u saobraćaju koji prouzrokuju ekonomske gubitke i štete po prirodnu okolinu kroz zagađenje. Osnovna mana postojećih transportnih informacionih sistema je samo vertikalna integracija pojedinačnih senzora. Tako na primer, u mnogim sistemima javnog gradskog saobraćaja na stajalištima postoje interaktivni displeji koji prikazuju podatke o očekivanom dolasku sledećeg vozila na stajalište na osnovu podataka sa GPS podsistema koji je instaliran u svim vozilima gradskog saobraćaja. Ove podatke, koji su vrlo korisni, koristi samo jedan sistem, kontrole gradskog saobraćaja, i nije javno dostupan ostalim transportnim informacionim sistemama iako bi ti podaci i ostalim sistemima bili vrlo korisni. TrafficView projekat (Dashtinezhad, Nadeem et al., 2004) Rutgers univerziteta implementira sistem direktne komunikacije između vozila u svrhu razmene poruka o neposrednim događajima, kao i o događajima koji su predviđeni u budućnosti. Ove poruke se koriste kako bi se vozači upozorili o opasnostima na putu ili pružila mogućnost planiranja puta radi izbegavanja saobraćajnih gužvi. Obzirom da je u ovom projektu implementiran peer-to-peer mehanizam komunikacije, svako vozilo sakuplja i emituje podatke o sebi i ostalim vozilima i vrši agregaciju ovih podataka po segmentima putne mreže. U skladu sa izabranim metodom ad-hoc komunikacije, algoritmi agregacije i diseminacije i načini rutiranja poruka po ad-hoc mreži predstavljaju ključ efikasne i pouzdane razmene podataka između vozila. Osnovni cilj ovakvog sistema je da vozaču pruži bolji uvid u stanje na putu ispred njega u opasnim saobraćajnim situacijama. Sistem implementira takozvani *near-view panel* koji simbolički prikazuje vozila koja se nalaze na putu ispred vozača i prikazuje upozorenja kada ta vozila koče. Slika 2.5 prikazuje ovaj *near-view panel* displej sistema TrafficView.



Slika 2.5 *Near-view* panel projekta TrafficView sa simboličkim prikazom vozila ispred

Prethodno navedeni primer ukazuje na činjenicu da su vrlo bitna komponenta ITS-a izvori podataka o stanju u saobraćaju. Osim planskih informacija objavljivanih od strane službi za upravljanje saobraćajem o planiranim radovima na putu i drugim izmenama u režimu saobraćaja jasno je da ovakvi dinamički sistemi zahtevaju i izvore podataka koji u realnom vremenu mogu dati podatke o stanju u saobraćaju za svaki segment putne mreže. Tradicionalno, to su mreže senzora instalirane na putnoj infrastrukturi. U radu (Coleri, 2004) dat je pregled aktuelno korišćenih senzorskih tehnologija koje se koriste u ITS-u i daje pregled alternativnog pristupa detekciji stanja u saobraćaju. Većina aktuelnih senzorskih tehnologija za detekciju stanja u saobraćaju koje se danas ugrađuju u putnu infrastrukturu su takozvane intruzivne. Senzori su fiksni, njihova ugradnja zahteva prekid saobraćaja na segmentima puta na kojima se ugrađuju i njihove lokacije se moraju dobro isplanirati zato što je relokacija senzora ekonomski neisplativa i praktično neizvodljiva. Tradicionalni senzori koji se koriste uključuju induktivne petlje, kamere sa sistemima za procesiranje videa, radari, laserski i pasivni ultrazvučni i infracrveni sistemi za detekciju vozila. Iako su ovakvi senzorski sistemi vrlo precizni, njihova osnovna mana je njihova statičnost, komplikovana instalacija i održavanje, kao i veoma visoka cena u odnosu na geografsku oblast koju pokrivaju. Ovakvi senzori se montiraju na raskrsnicama ili strateškim mestima na autoputevima kako bi imali maksimalni efekat. Autori predlažu grupisanje skupa senzora oko bežičnog access-point-a sa koga se prikupljeni podaci preuzimaju. Slika 2.6 prikazuje primer rasporeda grupe statičkih saobraćajnih senzora na raskrsnici ili na autoputu sa pridruženim access-point-om.



Slika 2.6 Primer rasporeda statičkih saobraćajnih senzora

Kao primer bežičnog senzorskog čvora implementiran je takozvani *TrafficDot* (Lara, Pérez et al., 2011) koji sadrži mikroprocesor, bežični komunikacioni modul i dva anizotropna magnetorezistivna (AMR) senzora. Ova senzorska tehnologija omogućava brojanje vozila, detekciju tipa i dužine vozila, kao i brzinu prolaska.

Analizirajući prethodno sumiran put razvoja transportnih informacionih sistema od jednostavnih proširenja GIS-T paketa pa do inteligentnih transportnih sistema možemo zaključiti da je osnovni preduslov ovog razvoja bila evolucija različitih izvora podataka o saobraćaju. Izvori podataka se mogu svrstati u 4 grupe:

1. Statistički podaci

Ovi podaci su dostupni posle dužeg perioda i dobijaju se analizom saobraćajnih događaja o kojima izveštaje podnose službe vezane za kontrolu saobraćaja. Najčešće su to izveštaju o broju i tipu saobraćajnih nesreća, broju i tipu saobraćajnih prekršaja, vremenu, periodu i razlogu neprohodnosti puteva i sl. Ova kategorija podataka se praktično može iskoristiti samo za planiranje razvoja saobraćajne infrastrukture i nema naročit značaj za učesnike u saobraćaju u trenutku upravljanja vozilom. Ovakvi podaci se generišu tipično na godišnjem nivou.

2. Informacije nadležnih službi

Ova kategorija saobraćajnih informacija se generiše od strane službi zaduženih za kontrolu saobraćaja i to najčešće na dnevnom nivou. Podaci se najčešće izdaju u formi saopštenja i sadrže podatke o neprohodnim saobraćajnicama, planiranim radovima na putu, vremenskim uslovima i sl. Ove informacije mogu biti od koristi krajnjim korisnicima, vozačima, u fazi planiranja putovanja. Najveći problem u radu sa podacima iz ove grupe je ekstrakcija informacija iz saopštenja i odsustvo standarda za reprezentaciju i razmenu ovih informacija.

3. Podaci sa senzora integrisanih u putnoj infrastrukturi

Razvoj ove kategorije izvora saobraćajnih informacija je upravo i omogućio razvoj inteligentnih transportnih sistema. Podaci iz ove kategorije se dobijaju u realnom vremenu sa promenom stanja u saobraćaju. Ovo kratko vreme pribavljanja aktuelnih podataka o saobraćaju omogućava njihovo korišćenje u svrhu upravljanja saobraćajem i reakcije na detektovani problem koji je eventualno uočen u odvijanju saobraćaja. Pod time se prvenstveno misli na kontrolu izmenljive saobraćajne

signalizacije. Iako se ovi podaci relativno retko direktno redistribuiraju vozačima u obliku u kome su prikupljeni postoji mogućnost slanja notifikacija vozačima o formiranim gužvama u cilju njihovog izbegavanja ili smanjenja njihovog uticaja na celokupni tok saobraćaja u određenom regionu.

4. Podaci prikupljeni od samih učesnika u saobraćaju

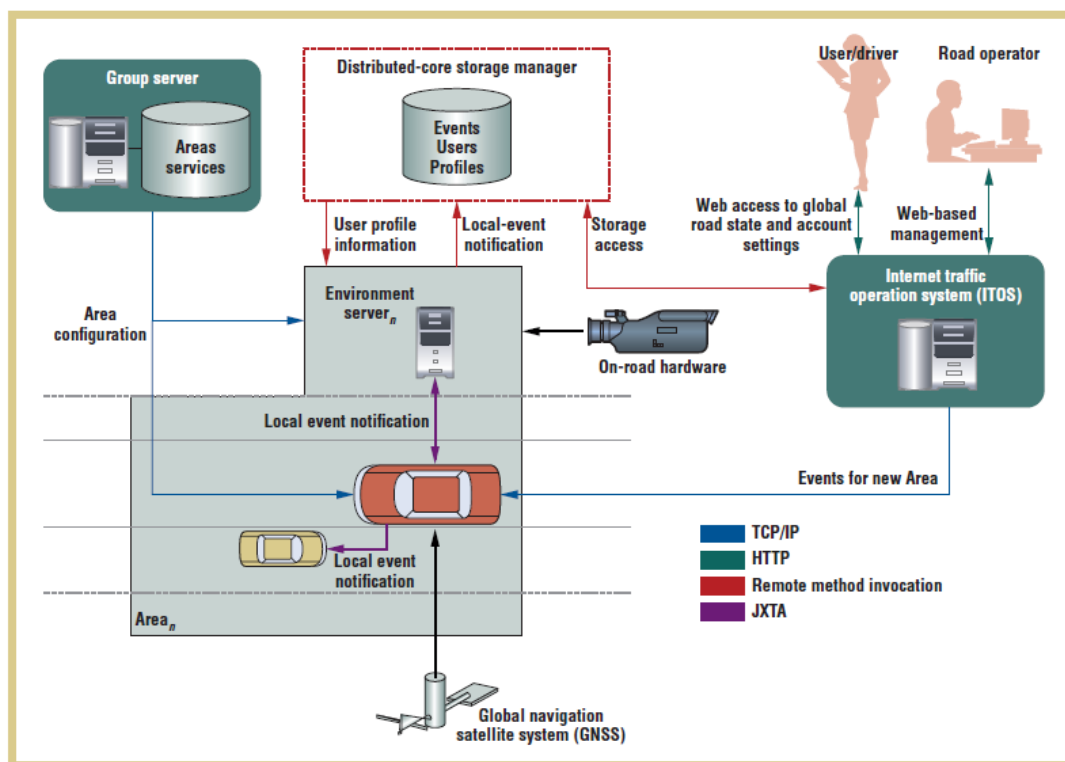
Ovo je najaktuelniji pristup u prikupljanju saobraćajnih informacija i trenutno se istražuje u mnogim istraživačkim projektima. Ovaj pristup delimično rešava osnovni problem statičkih senzora integrisanih u putnoj infrastrukturi, a to je cena i pokrivanje relativno male geografske oblasti. Efikasnim iskorišćenjem senzora dostupnih na samim vozilima i računarskim uređajima za navigaciju možemo dobiti isti kvalitet saobraćajnih informacija kao u prethodnoj grupi pri čemu vozila koja se kreću po putnoj mreži pokrivaju mnogo veću geografsku oblast. U ovoj disertaciji je istraživan upravo ovaj pristup prikupljanju saobraćajnih informacija upotrebom generalnih mobilnih računarskih uređaja koji se danas koriste u navigaciji i analizom podataka sa relevantnih senzora koji postoje na tim uređajima.

2.4 Razmena saobraćajnih podataka i obaveštenja

Pravac razvoja senzorskih tehnologija u inteligentnim transportnim sistemima ukazuje na trend i opravdanost korišćenja bežičnih komunikacionih tehnologija u razmeni kako podataka o saobraćaju prikupljenih na terenu tako i obaveštenja vozačima o bitnim događajima u saobraćaju. U istraživanjima na ovu temu uglavnom dominiraju dva pristupa, direktna komunikacija između vozila (V2V – Vehicle-2-Vehicle) i komunikacija vozila sa putnom infrastrukturom (V2I – Vehicle-2-Infrastructure). Tehnološki posmatrano ova dva pristupa su prilično različita, pa se tako i projekti koji implementiraju ove različite komunikacione principe uglavnom bave rešavanjem različitih problema. Vrlo često se ova istraživanja bave telekomunikacionim problemima, pitanjima komunikacionih protokola i protokola za rutiranje u ad-hoc mrežama.

Autori u (Santa, 2009) uočavaju da je problem isporuke informacija u saobraćaju relativno nezavistan od načina prikupljanja tih informacija. U radu se uočava postojanje Radio Data System (RDS) komunikacione osnove i njemu prilagođen Traffic Message Channel (TMC) protokol za razmenu obaveštenja. Iako je ovaj pomenuti koncept redistribucije upozorenja vozačima poznat već neko vreme tek skorija istraživanja

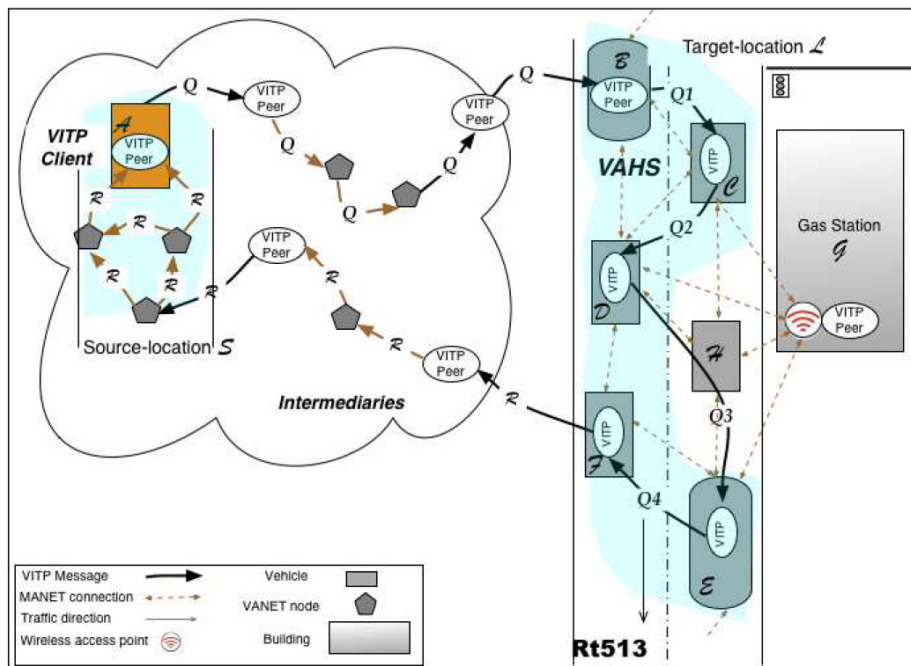
pokazuju uticaj isporuke ovakvih obaveštenja na bezbedno ponašanje vozača u saobraćaju i smanjenje broja saobraćajnih nesreća. Autori smatraju da je centralizovan pristup prikupljanju i redistribuciji saobraćajnih informacija ograničavajući faktor i fokusiraju se na kombinaciju direktne komunikacije između vozila, formiranje takozvanih Vehicular Ad-hoc NETworks (VANET) i V2I koncepta korišćenjem bežičnih mreža (CN – Cellular Networks). VANET mreže nude visoke performance komunikacije između vozila koja se nalaze u neposrednoj blizini dok CN mreže nude komunikaciju bez ograničenja u dometu korišćenjem Interneta i paketnog prenosa kroz mreže mobilnih operatera. Ovaj drugi pristup garantuje isporuku informacija i bez velike gustine vozila opremljenih VANET tehnologijom. Autori predlažu kombinaciju najboljeg iz oba pristupa, peer-to-peer komunikaciju korišćenjem CN mreže. Slika 2.7 prikazuje konceptualnu arhitekturu pristupa koji je predložen u ovom istraživanju.



Slika 2.7 Peer-to-peer komunikacija korišćenjem V2I komunikacione infrastrukture (Santa 2009)

U predloženom rešenju peer-to-peer komunikacija je ograničena u grupama koje su prostorno ograničene. Razmenom podataka između vozila u grupi upravlja *GroupServer*. *EnvironmentServer* nadgleda svu komunikaciju u okviru grupe i po potrebi može unicast poslati upozorenje konkretnom vozilu.

Aktuelna pitanja komunikacionih protokola i protokola za rutiranje poruka u VANET-u su obrađena u radu (Dikaiakos, 2007). Autori predlažu Vehicular Information Transfer Protocol (VITP), protokol aplikacionog sloja prilagođen infrastrukturi ad-hoc mreža vozila na putu. Osnovni problem koje ovaj novouvedeni protokol rešava su česte i brze promene u topologiji linkova u VANET-u, česti prekidi u konektivnosti, naročito u situacijama male gustine vozila na putu, mogućnost predviđanja lokacija čvorova u VANET-u obzirom da se vozila kreću po predefinisanoj putnoj mreži. Za razliku od često korišćenog broadcast principa redistribucije poruka u VANET-u u ovom istraživanju je predložen lokaciono-zasnovani pull mehanizam. To znači da vozač zahteva informaciju o svom odredištu (ili ruti do odredišta), a taj zahtev se po ad-hoc VANET-u propagira u pravcu odredišta koje je vozač označio. Po dolasku poruke u oblast odredišta peer-ovi u mreži (druga vozila sa računarskim hardverom) obrađuju ovaj zahtev i vraćaju relevantne informacije. Ovakve zahteve obrađuju grupe peer-ova koji se dinamički grupišu u *Virtual Ad-hoc Server (VAHS)* entitete. Unutar VAHS grupe zahtev se prosleđuje između peer-ova dok se ne zadovolji *Return Condition* posle čega se poruka korišćenjem VANET-a vraća u smeru odakle je zahtev stigao. Tokom razmene poruka između peer-ova članova VAHS grupe svaki peer može da upiše podatke koje poseduje, a koje smatra relevantnim za taj zahtev. Slika 2.8 ilustruje ovaj princip rutiranja poruka ka odredištu i njihovu obradu u okviru VAHS grupe.



Slika 2.8 Lokaciono-zasnovana razmena poruka u VANET-u i obrada u VAHS grupi peer-ova (Dikaiakos 2007)

Međutim, autori identifikuju neadekvatnost pull request-response metoda u slučaju redistribucije upozorenja o nekom incidentnom događaju. Redistribucija ovih upozorenja je geografski ograničena i isporučuje se samo peer čvorovima kojima je ta informacija prostorno relevantna.

Posebnu oblast istraživanja čine protokoli za razmenu informacija, kako između organizacija za upravljanje saobraćajem, tako i između ovih organizacija i samih učesnika u saobraćaju. Na početku ovog poglavlja je pomenut RDS-TMC sistem koji je već par godina u aktivnoj upotrebi. Obzirom da ovaj sistem koristi radio kao komunikacioni kanal posebna pažnja je posvećena optimizaciji veličine poruka. Tipovi događaja, kao i geografske lokacije se kodiraju numeričkim vrednostima iz posebnih tabela i kao takvi se binarno isporučuju radio sistemom. Ovakav fiksni način kodiranja geografskih lokacija je i osnovna mana ovog sistema i predstavlja značajan ograničavajući faktor.

Alternativni protokol adekvatniji Internet prenosu, DATEX (Raines, 2008), je projektovan i razvijen kao mehanizam za razmenu saobraćajnih i turističkih podataka sa ciljem da se standardizuje interfejs za razmenu podataka između centara za kontrolu saobraćaja. Predstavlja osnovu za aplikacije koje su razvijene i implementirane u Evropi. Postojeća DATEX mreža čini 50 – 60 operacionih centara širom Evrope. Većina centara se koristi za razmenu podataka na nacionalnom nivou, ali postoje i oni koji pružaju podršku za internacionalnu razmenu podataka. DATEX je baziran na XML-u i definisan jedinstvenom šemom.

DATEX II nudi push i pull mod za razmenu informacija. *Push* mod omogućava isporučiocu informacija da šalje informacije klijentu bez posebnog zahteva klijenta, dok pull mod podrazumeva da klijent svaki put dobije informacije slanjem zahteva. Push mod se može realizovati na dva načina, prvi je da klijent dobija informacije prilikom svake njihove promene proaktivno, drugi mehanizam bi bio da se informacije isporučuju periodično. Slika 2.9 sadrži primer DATEX poruke.

Svaku DATEX poruku čini sekcija *situation* koja predstavlja saobraćajnu informaciju. U zaglavlju ove sekcije stoji jedinstveni identifikator „saobraćajne situacije“, kao i važnost saobraćajne informacije. Prema DATEX-u saobraćajni događaji se dele na:

- loš put (eng. PoorRoadInfrastructure),
- prepreka (eng. Obstruction),
- trenutni uslovi (vremenski) (eng. Conditions),

- radovi na putu, aktivnosti (eng. Activities),
- nezgode (eng. Accident),
- saobraćajne gužve (eng. AbnormalTraffic).

```

<?xml version="1.0"?>
<d2LogicalModel xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" modelBaseVersion="1.0" xmlns="http://datex2.eu/schema/1_0/1_0">
  <exchange>
    <supplierIdentification>
      <country>se</country>
      <nationalIdentifier>SRA</nationalIdentifier>
    </supplierIdentification>
  </exchange>
  <payloadPublication xsi:type="SituationPublication" lang="SE">
    <feedType>SITUATIONS</feedType>
    <publicationTime>2007-05-08T12:48:25.1756209+02:00</publicationTime>
    <publicationCreator>
      <country>se</country>
      <nationalIdentifier>SRA</nationalIdentifier>
    </publicationCreator>
    <situation id="SE_SRA_SITUATION_6852505">
      <headerInformation>
        <confidentiality>noRestriction</confidentiality>
        <informationStatus>real</informationStatus>
      </headerInformation>
      <situationRecord xsi:type="Accident" id="SE_SRA_TRISSID_1_6852505">
        <situationRecordCreationTime>2007-05-08T09:20:38.317</situationRecordCreationTime>
        <situationRecordVersion>7</situationRecordVersion>
        <situationRecordVersionTime>2007-05-08T12:40:06.243</situationRecordVersionTime>
        <situationRecordFirstSupplierVersionTime>2007-05-T12:40:06.243</situationRecordFirstSupplierVersionTime>
        <probabilityOfOccurrence>certain</probabilityOfOccurrence>
        <sourceInformation>
          <sourceName>
            <value lang="SE">Triss</value>
          </sourceName>
        </sourceInformation>
        <validity>
          <validityStatus>definedByValidityTimeSpec</validityStatus>
          <validityTimeSpecification>
            <overallStartTime>2007-05-08T09:13:00</overallStartTime>
            <overallEndTime>2007-05-08T14:00:00</overallEndTime>
          </validityTimeSpecification>
        </validity>
        <generalPublicComment>
          <comment>
            <value lang="SE">Trafikolycka lastbil, vägen ner mot Fredriksskans.</value>
          </comment>
        </generalPublicComment>
        <groupOfLocations>
          <locationContainedInGroup xsi:type="Point">
            <pointByCoordinates>
              <pointCoordinates>
                <latitude>60.7008476</latitude>
                <longitude>17.18754</longitude>
              </pointCoordinates>
            </pointByCoordinates>
          </locationContainedInGroup>
        </groupOfLocations>
        <accidentType>accident</accidentType>
      </situationRecord>
    </situation>
  </payloadPublication>
</d2LogicalModel>

```

Slika 2.9 Primer DATEX poruke

Značajan atribut za opis saobraćajne informacije je i verzija saobraćajne situacije *situationRecordVersion*, na osnovu koga se vrši ažuriranje saobraćajnih događaja. Ovaj atribut predstavlja broj, pri čemu se on vremenom inkrementira ukoliko dođe do promene u određenom saobraćajnom događaju. Atribut *situationRecordVersionTime* prati nastanak odgovarajuće verzije saobraćajnog događaja. U nastavku je opis saobraćajne informacije

kao i vreme nastanka i pretpostavljeno vreme završetka trajanja događaja. Detaljni opis ovih događaja je takođe sadržan u telu „situacije“.

Lokacija prema DATEX-u može biti point, linear, area. Point je tip lokacije koji se koristi za saobraćajne događaje (nezgode, udesi, zastoji, itd.). Tačka se može predstaviti na dva načina, definisanjem same tačke na kojoj je događaj ili definisanjem neke druge tačke (npr. kraj segmenta ili neka značajna lokacija u blizini) i rastojanje od zadate tačke. Ukoliko je saobraćajnim događajem zahvaćen deo puta, korisnije je lokaciju događaja predstaviti linearno, definisanjem segmenta, rastojanja od početka i rastojanja od kraja ili dužinom koja obuhvata saobraćajni događaj. Vremenske prilike su takođe veoma važne informacije za transport i putovanje. Za njihovo predstavljanje se najčešće koristi prostorno (area) referenciranje. Region koji je zahvaćen se predstavlja tačkom koja se nalazi u centru zahvaćene oblasti, i prečnikom koji ovičuje delovanje događaja.

Za razliku od DATEX-a koji se uglavnom koristi za razmenu informacija između infrastruktura, i uglavnom ne pokriva saobraćajne događaje u gusto naseljenim mestima. Za isporuku saobraćajnih informacija širem skupu korisnika se koristi TPEG (Bures, 2009). Informacije kodirane u TPEG formatu se mogu emitovati u tekstualnom ali i u binarnom obliku koji je čitljiv za navigacione uređaje novije generacije. TPEG (eng. Transport Protocol Experts Group) je standardizovan format za saobraćajne i transportne informacije koji omogućava registrovanje događaja u svim oblicima transporta na struktuiran način. Ključni partner u razvoju TPEG-a je kompanija BBC, dok projekat vodi EBU (eng. European Broadcasting Union). Korišćenje TPEG-a omogućuje efikasniji razvoj sistema za obradu i prikaz saobraćajnih informacija.

Saobraćajni događaji koji se mogu opisati korišćenjem tpeg-rtmML-a mogu biti:

- Vremenski uslovi,
- Vidljivost,
- Upozorenja,
- Stanje putne mreže,
- Obstrukcije,
- Performanse mreže,
- Pokretni hazardi,
- Stanje puta (aktivnosti),
- Nezgode

BBC kompanija je razvila svoj servis baziran na tpegML-u koji isporučuje saobraćajne informacije na nivou Engleske www.bbc.co.uk/travelnews/xml. TPEG (Transport Protocol Experts Group) je standard za isporuku saobraćajnih informacija definisan ISO/TS 24530-1:2006(E) (Das, Green et al., 2010). TPEG služi za opis saobraćajnih događaja, klasifikovanih u tri kategorije. Prva kategorija su TEC (Traffic Event/ saobraćajni događaji), TFP (Traffic Flow/ informacije o gustini saobraćaja), PKI (Parking Info / informacije o slobodnim parking mestima). TPEG je definisan XML-om. Ovako definisane poruke mogu se isporučivati putem radio signala ili interneta krajnjem korisniku ili aplikaciji koja ima ugrađenu podršku za TPEG. TpegML dokument čine skup poruka koje u sebi sadrže saobraćajne informacije (događaje). Slika 2.10 sadrži primer jedne TPEG poruke.

```
<tpeg_message>
  <originator country="UK" originator_name="BBC Travel"/>
  <summary xml:lang="en">M4 closed</summary>
  <road_traffic_message>...</road_traffic_message>
</tpeg_message>
```

Slika 2.10 Primer TPEG poruke

Kao što se može primetiti svaka poruka sadrži tri sekcije *originator*, *summary*, *road_traffic_message*. Originator predstavlja podatke o izvoru saobraćajnih informacija, *summary* predstavlja skraćeni tekstualni opis saobraćajnog događaja. Sekcija *road_traffic_message* je najobimnija sekcija i čine je informacije o lokaciji nastalog događaja, multimedijalni sadržaj ukoliko je dostupan, detaljniji opis u tekstualnom obliku. Lokacija saobraćajnog događaja je definisana prema locML.dtd,

Kao deo TPEG standarda za definisanje lokacije kreiran je TPEG-loc. TPEG-loc je dizajniran za više različitih tipova klijenata (digitalni radio, navigacioni sistemi, PDA-uređaji, računari, itd.). Pomoću TPEG-loc definiše se lokacija prilikom kreiranja saobraćajne poruke (eng. Road Traffic Messages), transportne informacije (eng. Public Transport Information) i informacije o parkingu (eng. Parking Information). Tipovi lokacija koje su definisane:

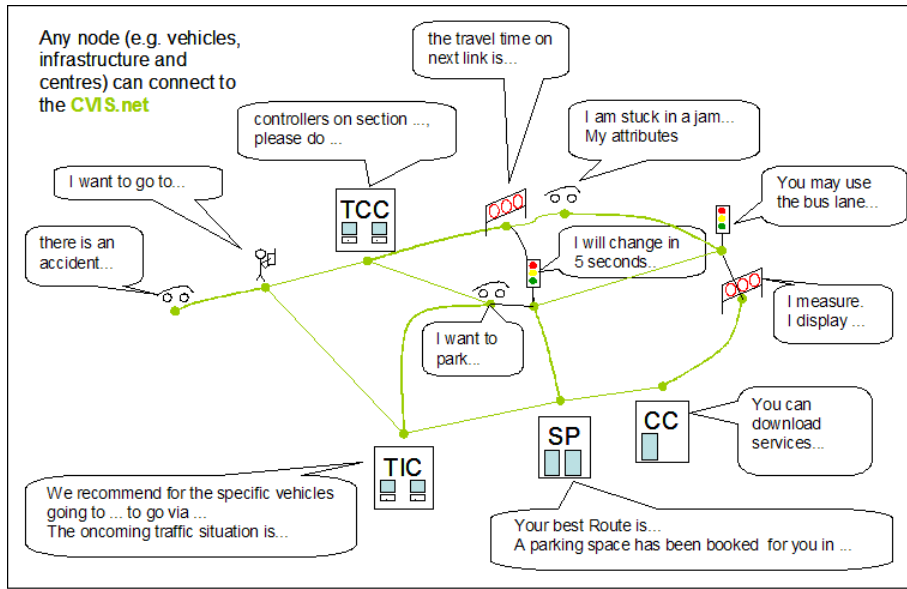
- Velike oblasti (eng. Large Area), čiji je prečnik veći od 5km na primer izveštaj o magli,
- Tačkaste oblasti (eng. Nodal Area), čiji je prečnik manji od 5km, na primer železnička stanica

- Usmeren segment (eng. Directional Segment), na primer za saobraćajne zastoje,
- Prekidne tačke (eng. Intersection Point), na primer za blokiran saobraćaj na putu,
- Uokvirena tačka (eng. Framed Point), na primer za ruralne lokacije između dva sela,
- Nepovezana tačka (eng. Non-Linked Point), na primer za lokacije koje nisu vezane za putnu mrežu,
- Povezane tačka (eng. Connected Points), na primer nekoliko tačaka koje nisu vezane za putnu mrežu a nalaze se u okviru aerodroma.

Aktuelan pravac istraživanja poslednjih godina u inostranim projektima u ovom domenu su kolaborativni sistemi. Osnova ovih istraživanja je zapažanje da u velikom broju savremenih vozila postoje senzorski, računarski i komunikacioni kapaciteti koji su najčešće neiskorišćeni ili se koriste samo lokalno u sistemima aktivne bezbednosti. Projekti kolaborativnih inteligentnih transportnih sistema imaju za cilj da aktivno uključe učesnike u saobraćaju (vozila i vozače) u proces detekcije i izveštavanja o stanju u saobraćaju i saobraćajnim događajima, kao i u proces razmene ovih podataka. U radu (Toulminet, 2008) je dat komparativni pregled tri aktuelna evropska projekta u ovoj oblasti koji istražuju kolaborativni pristup u inteligentnim transportnim sistemima. To su projekti CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems) (CVIS, 2010), COOPERS (Cooperative Systems for Intelligent Road Safety) (COOPERS, 2010) i SAFESPOT (eSafety Cooperative Systems for Road Transport) (SAFESPOT, 2010). U viziji ovih projekata se kaže da će u budućim inteligentnim transportnim sistemima vozač, vozilo i putna infrastruktura činiti trougao u kome je ključna funkcija razmena informacija. Dok današnji inteligentni transportni sistemi koriste inovativne tehnologije kako bi saobraćajne informacije u realnom vremenu isporučivali vozačima korišćenjem FM radio prenosa, izmenljive saobraćajne signalizacije i Internet-a, u budućnosti će ove informacije biti slate direktno informacionim sistemima u vozilima pri čemu je ključno da je ova komunikacija dvosmerna pri čemu vozilo komunicira sa infrastrukturom, pa i ostalim vozilima.

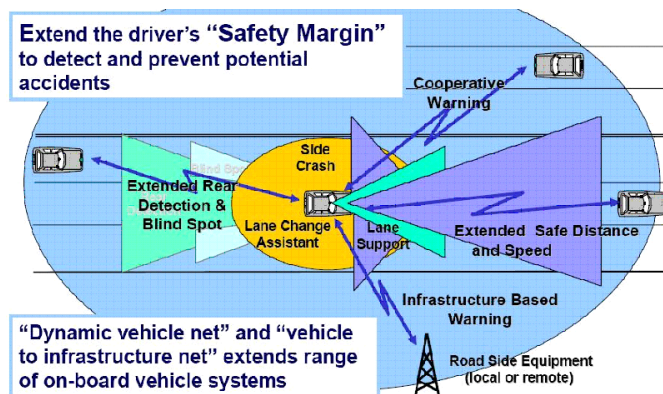
Svaki od pomenuta tri projekta se bavi različitim slučajevima upotrebe kolaborativnih ITS, odnosno njihovi krajnji korisnici su različiti. CVIS projekat se bavi razvojem ključnih tehnologija, SAFESPOT se fokusira na kooperativne sisteme za procesiranje kritičnih aktivnosti, dok se COOPERS fokusira na službe za kontrolu saobraćaja koje će biti uključene u kooperativne ITS. Obzirom da se CVIS projekat bavi razvojem i testiranjem komunikacionih tehnologija koje će omogućiti vozilima bezbednu komunikaciju sa bliskom putnom infrastrukturom i ostalim vozilima osnova je

internacionalni standard CALM (Communicaitons Air-interface Long and Medium range). Slika 2.11 (preuzeta iz vizije projekta) prikazuje slučajeve upotrebe u kojima se ova komunikaciona tehnologija može koristiti. CALM arhitektura omogućava V2V i V2I komunikaciju nezavisnu od komunikacionog medijuma. Trenutno postoje implementacije za većinu aktuelnih bežičnih komunikacionih tehnologija kao što su mobilne mreže, infracrveni sistemi, mikrotalasna komunikacija, WiFi itd.



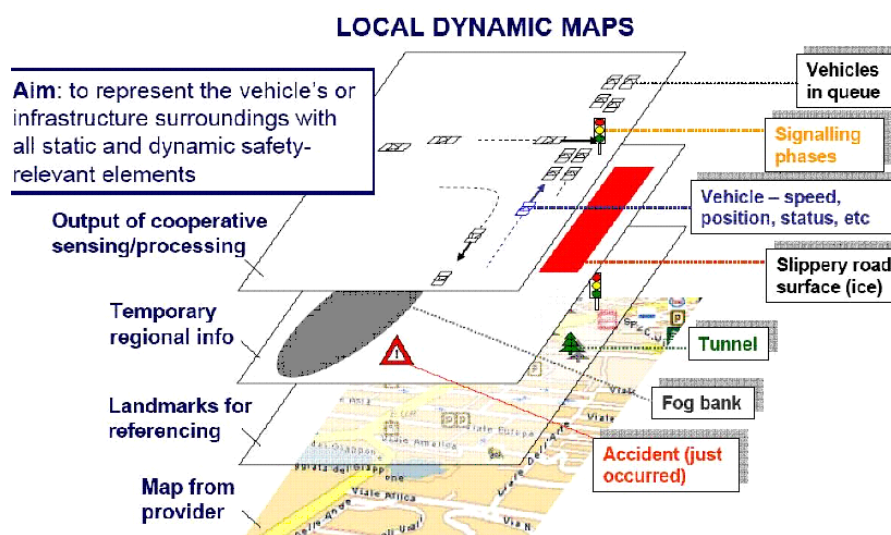
Slika 2.11 Primeri upotrebe CVIS komunikacionih tehnologija (SAFESPOT, 2010)

SAFESPOT projekat se bavi bezbednosnim aspektima kolaborativnih ITS. U projektu se definiše bezbedna oblast oko vozila („safety-margin“ Slika 2.12 – preuzeta iz SAFESPOT idejnog projekta) kao rastojanje koje vozile pređe od trenutka u kome je opasnost detektovana do trenutka kada do incidenta dodje ukoliko se ništa ne preduzme.



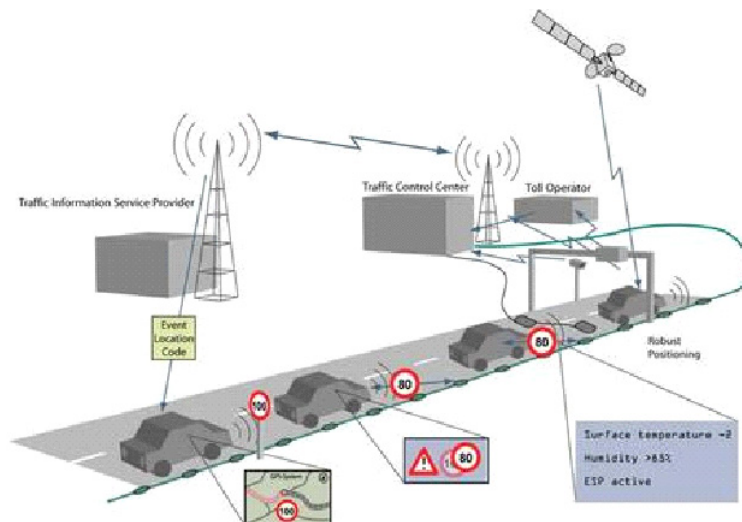
Slika 2.12 Bezbedna oblast oko vozila („safety-margin“) (SAFESPOT, 2010)

Danas, u ovakvim situacijama prvo reaguju ADAS sistemi (Advanced Driving Assistance Systems), ali je dejstvo ovih sistema ograničeno njihovom nemogućnošću da detektuju druga vozila i događaje koji su van dometa lokalno instaliranih senzora na vozilu. Nove mogućnosti se otvaraju kombinovanjem podataka dobijenih sa lokalnih senzora na vozilu, podataka prikupljenih od drugih vozila u blizini i podataka koje isporučuje putna infrastruktura. U projektu se definiše lokalna dinamička mapa za okolinu vozila i ta mapa sadrži integrisane sve relevantne podatke prikupljene na prethodno pomenute načine. Korišćenjem ove mape, u projektu je demonstrirano da je moguće značajno proširiti „safety-margin“ zonu oko vozila i tako značajno unaprediti bezbednost. Slika 2.13 (preuzeta iz projektne dokumentacije) prikazuje princip formiranja lokalne dinamičke mape.



Slika 2.13 Princip formiranja lokalne dinamičke mape oko vozila (SAFESPOT, 2010)

COOPERS je skraćenica za “Co-operative Systems for intelligent Road Safety” i to je integrisani evropski razvojni projekat započet 2006 godine koji je trajao 4 godine. Projekat se fokusira na komunikaciju između putne infrastrukture i vozila (I2V) i razmenu saobraćajnih informacija vezanih za segmente putne mreže. U projektu se prepoznaje značajna uloga službi za kontrolu saobraćaja kao bitnih centralnih entiteta za prikupljanje i redistribuciju saobraćajnih informacija (Frötscher, 2008). Slika 2.14 prikazuje viziju pozicije saobraćajnih kontrolnih centara u kolaborativnom inteligentnom saobraćajnom sistemu budućnosti.



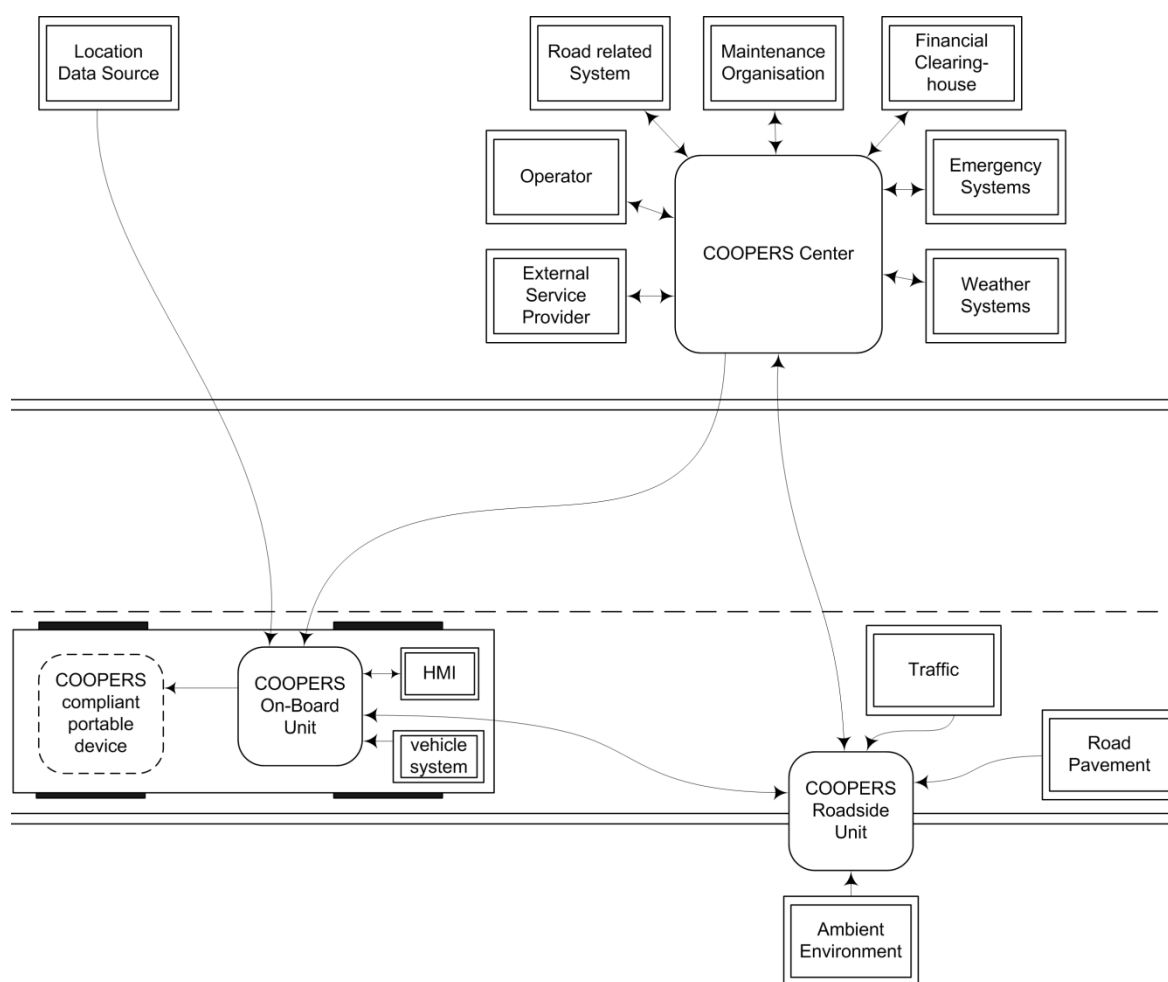
Slika 2.14 Vizija COOPERS sistema

Primarni cilj ovakvog rada sa saobraćajnim informacijama je povećanje bezbednosti na putevima, a sekundarno kooperativno upravljanje saobraćajem. Definisano je osnovnih 12 servisa kroz koje je ovo moguće postići:

- Upozorenja o saobraćajnim incidentima
- Upozorenja o vremenskim prilikama
- Informacije o radovima na putu
- Informacije o korišćenju saobraćajnih traka na putu (saobraćajna traka van funkcije, ograničeno korišćenje saobraćajne trake itd.)
- Implementacija promenljivih ograničenja brzine
- Upozorenja o saobraćajnim gužvama
- Inteligentno prilagođenje brzine kroz komunikaciju sa putnom infrastrukturom
- Promenljiva naplata putarine kao sredstvo upravljanja saobraćajnim gužvama
- Međudržavna interoperabilnost
- Navigacija i rutiranje sa procenom trajanja puta
- Navigacija i rutiranje sa uputstvima tokom vožnje
- Navigacija i rutiranje sa dinamičkom izmenom preporučene rute

Posmatrano iz fizičkog, implementacionog ugla, ove funkcionalnosti je potrebno grupisati po lokaciji (u vozilu, u kontrolnom centru, u putnoj infrastrukturi) i definisati podsisteme. Slika 2.15 prikazuje apstraktni pogled na raspored komponenti COOPERS sistema po lokacijama.

Kroz definisanje saobraćajnih informacionih servisa i izdvajanje bitnih lokacija komponenti COOPERS sistema uočene su prednosti korišćenja Floating Car Data i eXtended Floating Car Data koncepta u jednom ovakvom sistemu. Dvosmerna komunikacija između vozila i putne infrastrukture i kontrolnih centara izdvaja Vehicle-2-Infrastructure (V2I) i Infrastructure-2-Vehicle (I2V) smerove u okviru razmene podataka između vozila i putne infrastrukture. U V2I komunikaciji vozila sa svim integrisanim sensorima kako u samom vozilu, tako i u mobilnom navigacionom računarskom uređaju se koriste od strane COOPERS sistema kao izvori saobraćajnih događaja. Ovako prikupljeni podaci se prikupljaju u kontrolnom centru (TCC – Traffic Control Centre) i po potrebi korišćenjem I2V komunikacije isporučuju u vidu upozorenja i informacija drugim učesnicima u saobraćaju kojima su ti podaci relevantni.



Slika 2.15 Dijagram lokacija komponenti COOPERS sistema

FCD i XFCD koncepti kao i analiza mogućnosti korišćenja različitih tipova senzora koji su na raspolaganju kako u samom vozilu, tako i u mobilnim računarskim uređajima koji se koriste u vozilima su detaljnije analizirani u sledećem poglavlju.

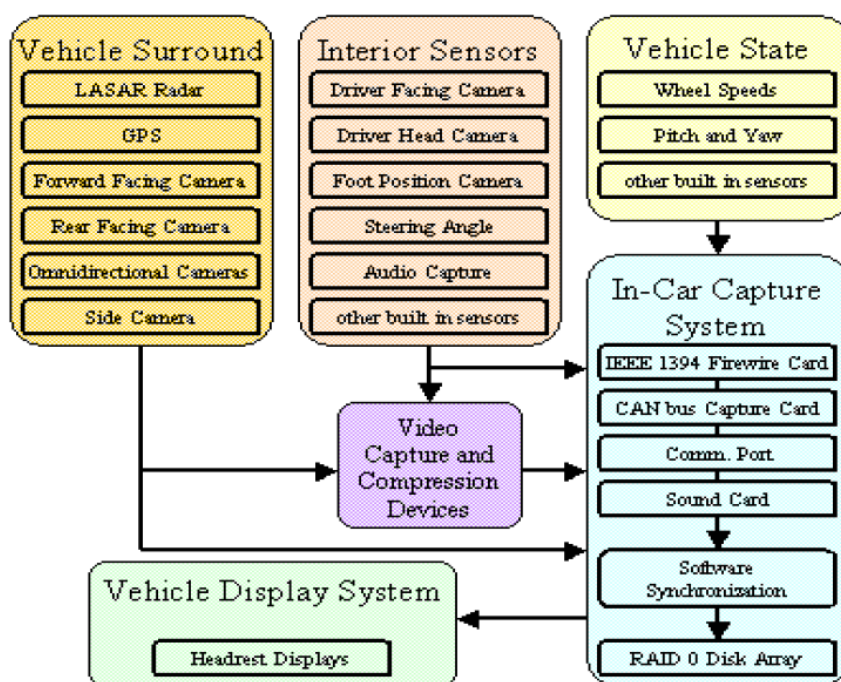
3 Vozilo i mobilni računarski uređaj kao izvori saobraćajnih informacija

Na kraju prethodnog poglavlja je skrenuta pažnja na trend razvoja kolaborativnih koncepata vožnje u savremenim istraživačkim projektima u domenu ITS-a. Ovo je i očekivan pravac razvoja obzirom da je vozač vrlo retko potpuno sam na segmentu putne mreže, odnosno skoro uvek više vozila deli isti saobraćajni kontekst. To praktično znači da isti uslovi saobraćaja i saobraćajni događaji praktično uvek utiču na veći broj vozila i vozača i da se kompletnija slika o stanju u saobraćaju može dobiti razmenom informacija između vozila. Tradicionalno sistemi pomoći u vožnji (DAS – Driving Assistance Systems) se oslanjaju na lokalne senzore dostupne na vozilu i imaju jako kratko vreme za reakciju. Reakcija se zato najčešće svodi na autonomno delovanje na sistem kočnica radi korekcije trajektorije vozila. Dostupnost saobraćajnih informacija koje su detektovala ostala vozila “povećava domet” senzora i omogućava ovim sistemima duže vreme za preventivnu, a ne samo korektivnu reakciju. Ono što je možda i bitnije, a više puta je naglašavano u ovoj disertaciji, je da se na ovaj način deluje na vozača i njegovo kompletnije shvatanje okoline i stanja u saobraćaju, tako da vozači koji su adekvatno unapred upozoreni svojim ponašanjem izbegavaju riskantne situacije i do aktiviranja DAS sistema i ne dolazi.

Jedan ekstrem u pristupu kolaborativnoj vožnji, kao u istraživanju (Hallé i Chaib-draa, 2005), je formiranje autonomnih grupa vozila (“platoons”). U svakoj grupi vozila postoji vođa, vozilo kojim upravlja vozač manuelno. Ostala vozila u grupi su pratioci, vozila koja autonomno prate vođu. U vozilima koji su pratioci vozači imaju minimalni ili nikakav manuelni uticaj na upravljanje vozilom. Ideal ovakvog pristupa je kompletna automatizacija longitudinalne (održavanje rastojanja od sledećeg vozila u grupi) i lateralne (održavanje pozicije u saobraćajnoj traci i promene saobraćajne trake) komponente upravljanja vozilom. Potpuna automatizacija upravljanja vozilom je tema drugog pravca istraživanja kao što je (Gil, de Jesús et al., 2012). Ovakva, potpuna, automatizacija upravljanja vozilom postavlja bitno pitanje volje prosečnog vozača da u potpunosti prepusti upravljanje vozilom tokom putovanja. Takođe, može se diskutovati da prepuštanje kontrole vozila automatici drastično smanjuje svest vozača o okolini vozila i stanju u saobraćaju. Obzirom da je u potpunosti isključen iz procesa upravljanja vozilom pasivan

vozač nije više spreman da doprinese u kritičnim situacijama. Iz tih razloga, ova disertacija se ne bavi ovim pristupom u kolaborativnoj vožnji. Konzervativniji pristup, kojim se bavi ova disertacija, je kolaborativna razmena saobraćajnih informacija između vozila i vozača u svrhu poboljšanja vozačevog shvatanja okoline vozila i stanja u saobraćaju pri čemu vozač sve vreme u potpunosti manuelno upravlja vozilom.

Istraživanja o uticaju sistema za pomoć u vožnji (DAS) na pažnju vozača i njegovo shvatanje stanja u saobraćaju su multidisciplinarna po svojoj prirodi i nisu tako česta u oblasti inteligentnih transportnih sistema. U (McCall, Achler et al., 2004) autori imaju specifičan pristup kolaborativnim sistemima pomoći u vožnji u kojima je vozač fokus funkcionalnosti. Obzirom da je kognitivni proces vozača distribuiran i lociran u prostoru, u istraživanju je jedno test vozilo opremljeno sensorima koji snimaju okolinu i unutrašnjost vozila, reakcije vozača i ponašanje samog vozila (LISA-Q test bed). Ispitanici su u ovako opremljenom vozilu obavljali testne 40-to minutne vožnje tokom kojih je na suvozačevom mestu navigator davao instrukcije vozaču, a na zadnjem sedištu tehničar kontrolisao process snimanja podataka sa svih senzora u vozilu. Slika 3.1 daje pregled instaliranih senzorskih tehnologija u testnom vozilu.



Slika 3.1 Paket senzora kojima je opremljeno test vozilo LISA-Q (McCall, Achler et al., 2004)

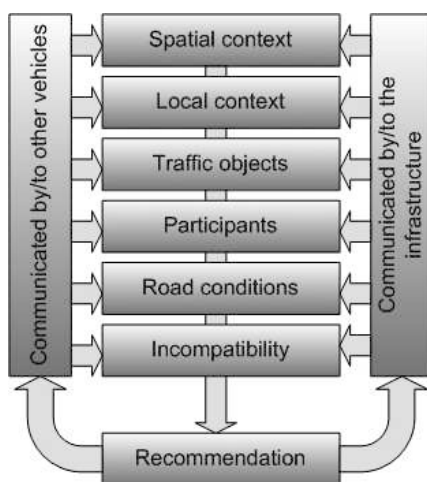
U post-procesiranju i analizi prikupljenih podataka su korišćeni i upitnici koje su vozači popunjavali po završenoj test vožnji. Kao ilustrativan primer situacije u vožnji

autori su koristili situaciju promene saobraćajne trake na autoputu. U ovoj analizi su identifikovani uzroci odluke vozača da promeni kolovoznu traku kao što su: prisustvo sporijih vozila u istoj traci ispred vozača, isključenja/uključenja sa/na autoput, prekid trenutne kolovozne trake zbog konfiguracije puta ili radova na putu i sl. Ovi preduslovi odluke vozača za započinjanje manevra se mogu iskoristiti kao ulazi DAS sistema koji će pripremiti vozilo za manevar ili prikazati vozaču obaveštenja/upozorenja o riskantnom ili nemogućem manevru. Takođe, u ovom istraživanju su identifikovane i tipične vozačeve akcije u pripremi i tokom izvođenja manevra. Pri tome se misli na proveru da li u ciljnoj saobraćajnoj traci postoji mesto za prestrojavanje, proveru gde se u bliskoj okolini nalaze vozila i da li su u nekom manevru, kojom brzinom se kreću i sl. Takođe, vozač daje signal o svojoj nameri da promeni saobraćajnu traku i prilagođava svoju brzinu uslovima saobraćaja u ciljnoj traci. Ove akcije identifikuju bitne elemente stanja u saobraćaju u neposrednoj blizini vozila tako da DAS sistemi mogu izdati upozorenje vozaču pre započinjanja manevra ukoliko neki od ovih parametara nije u skladu sa potrebnim uslovima za izvršenje manevra prestrojavanja. Analiza tesne povezanosti vozačevog shvatanja stanja u saobraćaju u okolini vozila i efikasnosti DAS sistema data u ovom radu naglašava prednosti pravovremene notifikacije vozača i prednosti preventivnog, a ne samo korektivnog delovanja DAS sistema.

U radu (Fuchs, 2007) su definisani ovakvi generalni sistemi kolaborativne vožnje kao kontekstno-svesni sistemi u domenu inteligentnih transportnih sistema. Osnovna funkcionalnost ovako zamišljenih sistema kolaborativne vožnje je da vozaču pravoveremeno i na adekvatan način predstave obaveštenja i upozorenja o stanju u saobraćaju na delu puta ispred vozila. Kao i u ostalim istraživanjima u ovoj oblasti i autori ovog rada razdvajaju kolaborativnu razmenu saobraćajnih informacija na razmenu između inteligentnih vozila i razmenu između vozila i putne infrastrukture. U scenariju direktne komunikacije između vozila u radu je identifikovano nekoliko kritičnih situacija u kojima upozorenja dobijena od ostalih učesnika u saobraćaju mogu bitno uticati na bezbedno ponašanje vozača. Na primer, situacija preticanja vozila koje zaklanja pogled i na nepreglednom delu puta se često završava saobraćajnom nesrećom. Ukoliko vozila emituju obaveštenja o nadolazećim vozilima u suprotnoj traci puta ostalim vozilima u okolini broj ovakvih kritičnih situacija bi se mogao svesti na minimum. Dalje, aktiviranje aktivnih sistema bezbednosti na vozilu (ABS, ESP) mogu predstavljati dobru indikaciju da je to vozilo učestvovalo u bezbednosno kritičnom saobraćajnom događaju i obaveštenje o tome

bi trebalo distribuirati ostalim vozačima u blizini kako bi prilagodili stil vožnje. U ovoj grupi su i obaveštenja o naglom kočenju čijom distribucijom se mogu izbeći lančani sudari, vrlo česti na brzim autoputevima. Zanimljivo je da je u radu identifikovana funkcionalnost koja je nazvana *razmena saobraćajnih objekata*. Autori uočavaju da ukoliko vozila razmenjuju podatke o uočenim saobraćajnim objektima (vozila, pešaci, raskrsnice itd.) paralelizuje se process izgradnje kompletne slike o okolini vozila u saobraćajnom smislu i znatno se skraćuje vreme koje je potrebno vozaču da stekne kompletnu sliku o stanju u saobraćaju ispred njegovog vozila. Takođe, još jedan efekat ove paralelizacije je povećanje pouzdanosti identifikacije bitnih saobraćajnih događaja i objekata. Ukoliko veći broj vozila/vozača identifikuje i prijavi neki saobraćajni događaj ili objekat sa većom sigurnošću se može tvrditi da se taj saobraćajni događaj realno i desio. Ovo je naročito bitno u kolaborativnim sistemima u kojima su izvori informacija slučajni i anonimni korisnici (u domenu ove disertacije učesnici u saobraćaju) pa je pouzdanost prikupljenih saobraćajnih informacija mnogo niža u poređenju sa informacijama prikupljenih sa tradiciionalnih saobraćajnih senzora.

Ovaj rad adekvatno identifikuje kolaborativne inteligentne transportne sisteme kao domenski specifičan podskup kontekstno-svesnih sistema. Kontekstno svesni sistemi su generalna kategorija i kontekst se ne može posmatrati apstrakno, izolovano u odnosu na domen u kome se koristi. Tako, u saobraćaju i transportu, informacije o stanju putne mreže i kolovoza, stanju saobraćaja, ostalim učesnicima u saobraćaju čine osnovu konteksta u domenu saobraćaja. Slika 3.2 prikazuje klasifikaciju relevantnih tipova kontekstnih informacija u domenu saobraćaja.



Slika 3.2 Klase kontekstnih informacija u domenu saobraćaja i transporta (Fuchs, 2007)

3.1 Socijalne mreže u domenu saobraćaja

Koncept kolaboracije između korisnika sa zajedničkim interesovanjem je poslednjih godina doneo revoluciju u oblast umrežavanja. Značaj ovih sistema i njihov uticaj na način komunikacije među ljudima je naročito došao do izražaja njihovom migracijom na mobilne uređaje. Ni domen saobraćaja nije ostao izolovan tako da postoji znatan broj kako istraživačkih projekata tako i komercijalnih rešenja koja se nude mobilnim korisnicima.

Autori rada (Lequerica, Garcia Longaron et al., 2010) istražuju mogućnosti primene koncepata socijalnih mreža u domenu saobraćaja. U okviru svog istraživanja su predstavili *Drive and Share* aplikaciju zasnovanu na IP Multimedia Subsystem i Machine-2-Machine platformi. Autori zapažaju da prosečan građanin tokom tipičnog dana najviše vremena provede u svom domu, kancelariji, ali i u vozilu putujući od posla do kuće i obratno. Samim tim, vozilo u kome korisnik provede značajan deo vremena tokom dana je bitna platforma za primenu socijalnih mreža. Takođe, u vozilu postoji značajan broj informacija koje mogu biti od interesa drugim učesnicima u saobraćaju. Te informacije uključuju:

1. Personalne informacije

Personalne informacije uključuju trenutnu lokaciju sa identifikacijom korisnika, odredište, preporučene tačke od interesa (POI), glasovne zapise, georeferencirane fotografije i sl.

2. Saobraćajne informacije

Bitne saobraćajne informacije mogu biti lokacije saobraćajnih nesreća, radovi na putu, saobraćajne gužve i sl.

3. Informacije o stanju u vozilu

Savremena vozila su opremljena specijalizovanim računarskim uređajima i velikim brojem senzora koji snimaju veliki broj parametara rada vozila kao što su detektori magle ili kiše, ABS kao indikator klizavog puta i sl.

Na osnovu ovih informacija korisnicima se mogu ponuditi dve kategorije mobilnih aplikacija: za privatne korisnike su bitne aplikacije koje mogu da im ponude računanje najbolje rute (po zadatom kriterijumu) do odredišta i izbor najpopularnijih tačaka od interesa-POI (benzinske stanice, restorani itd.). Službe za upravljanje saobraćajem takođe

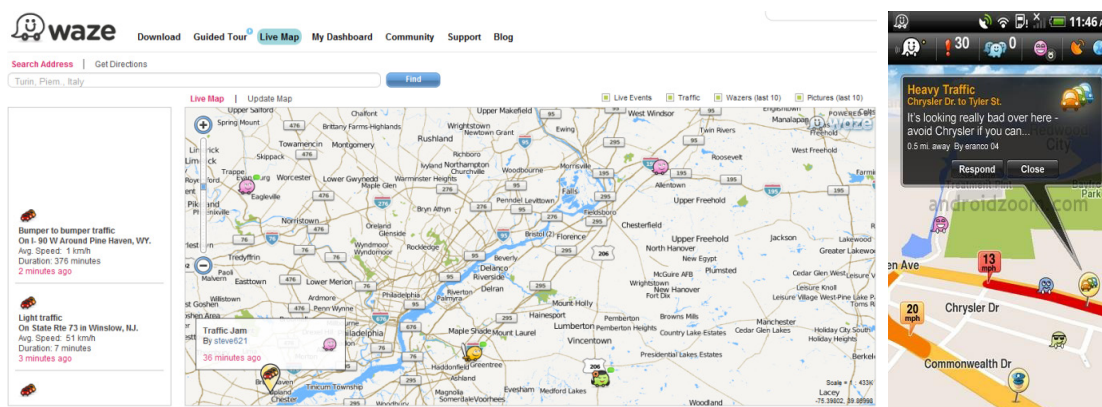
moгу koristiti ovakve sisteme u svrhu detekcije i predikcije saobraćajnih gužvi na pojedinim delovima putne mreže.

Tabela 3.1 daje kratak pregled najvažnijih mobilnih aplikacija socijalnih mreža u domenu saobraćaja i transporta sa pregledom najvažnijih funkcionalnosti koje ove aplikacije nude vozačima. Zanimljivo je uočiti da softverske kompanije uočavaju potencijal ovog tržišta i da već postoji određen broj komercijalnih aplikacija koje se nude korisnicima. Od svih navedenih aplikacija po svojim funkcionalnostima se izdvajaju *Aha Mobile* i *Waze*.

	Personalne informacije	Saobraćajne informacije	Fotografije	Glasovne zabeleške	Integracija sa drugim socijalnim mrežama
Navigon	Lokacija, odredište				Facebook, Twitter
ALK Technologies	Lokacija				Facebook
Telmap & GyPSii	Lokacija, preporuke POI, događaji, vesti, reklame		Da	Da	Facebook, Twitter
Aha Mobile	Lokacija, preporuke POI, događaji, muzika	Saobraćajne gužve		Da	Facebook, Twitter
Waze	Komentari	Opasne tačke, saobraćajne nesreće, radari, saobraćajne kamere, saobraćajne gužve, parking mesta	Da	Da	Facebook, Twitter
Trapster	Lokacija, kolaborativna procena pouzdanosti	Radari, saobraćajne kamere, radovi na putu, opasnost na putu, zona škole itd.		Da	Facebook, Twitter
RadAlert	Lokacija	Radari, saobraćajne kamere i patrole			

Tabela 3.1 Pregled komercijalnih rešenja socijalnih mreža u domenu saobraćaja

Aha Mobile prilagođava Web sadržaj poruke iz socijalnih mreža i obaveštenja o stanju u saobraćaju okruženju korisnika koji se nalazi u vozilu. To je u osnovi personalizovani interaktivni radio servis koji konvertuje Web sadržaj i poruke u audio streaming. *Waze* je mobilna aplikacija za razmenu saobraćajnih informacija u okviru grupe korisnika (vozača). Korišćenjem ove aplikacije korisnici mogu slati i razmenjivati poruke o saobraćajnim nesrećama, patrolama saobraćajne policije, saobraćajnim kamerama i sl. Sve ove poruke su georeferencirane i validne u sistemu samo ograničen vremenski interval. Ovaj vremenski interval zavisi od tipa prijavljenog događaja. Poruke takođe mogu sadržati glasovni sadržaj, kao i snimljene fotografije. Ovaj sistem omogućava pristup informacijama korišćenjem klasičnog Web-a i mobilne namenske aplikacije. Slika 3.3 prikazuje korisnički interfejs Web i mobilne aplikacije za pristup *Waze* sistemu.



Slika 3.3 Waze socijalna mreža u domenu saobraćaja i transporta

Pregledom postojećih komercijalnih rešenja socijalnih mreža namenjenih vozačima zapaža se tendencija korišćenja API-a postojećih socijalnih mreža (Facebook i Twitter) za razmenu poruka, kao i odsustvo mehanizama za ocenu validnosti i relevantnosti poruka koje se šalju u sistem od strane vozača. Takođe, jako značajna mana ovakvih sistema je odsustvo mogućnosti da se poruke šalju automatizovano na osnovu podataka sa senzora. To praktično znači da je tokom vožnje potrebno da vozač manuelno radi sa aplikacijom kako bi poslao poruku u sistem. To mnoge vozače odbija od korišćenja sistema, a i predstavlja značajno bezbednosno pitanje obzirom da je korišćenje mobilnog telefona u vožnji identifikovano kao jedan od značajnih uzroka saobraćajnih nesreća. Ovo značajno ograničenje ukazuje da fokus u razvoju mobilnih socijalnih mreža namenjenih vozačima treba da bude efikasan korisnički interfejs uz upotrebu naprednih tehnika HMI (Human Machine Interaction). Mnogi proizvođači automobila danas se fokusiraju na razvoj namenskih računara za upotrebu u vozilu. Međutim, značajna mana ovakvog pristupa je sporo prihvatanje i mali procenat vozila na putevima koji su opremljeni ovom tehnologijom. Sa druge strane, veliki broj vozila je opremljen najrazličitijim kategorijama mobilnih računara kao što su: eksterni PC računari namenjeni vozilima, embedded On Board Units (OBU), lični uređaji za navigaciju (PND – Personal Navigation Devices), mobilni Internet uređaji (MID – Mobile Internet Devices), tablet i smart telefoni. Svaka od ovih kategorija uređaja ima svoje hardversko/softverske karakteristike i procenat zastupljenosti na tržištu. Tabela 3.2 daje karakteristike softverskih i hardverskih mobilnih platformi koje su dostupne danas za korišćenje u vozilima.

Ovaj pregled platformi i dostupnih tehnologija ukazuje da postoji par perspektivnih platformi u ovom domenu. Android se izdvaja kao platforma sa najširoom podrškom za različite senzorske i komunikacione tehnologije pri čemu ima vrlo veliki stepen

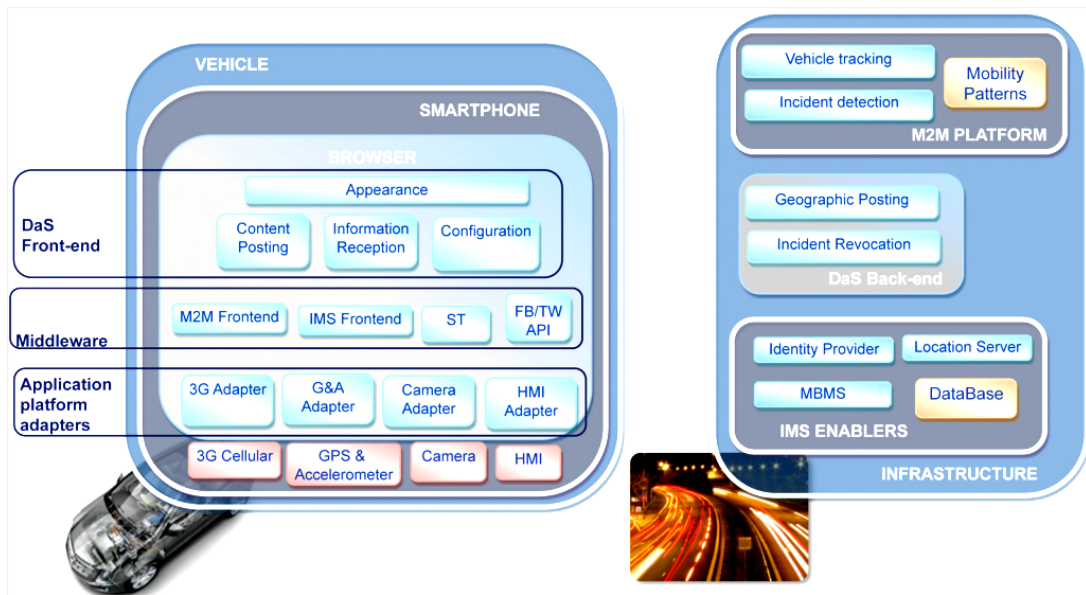
zastupljenosti na tržištu. Ovi razlozi ukazuju da je to možda i najperspektivnija platforma za razvoj mobilnih socijalnih mreža u domenu saobraćaja koje će imati vrlo brz put do velikog broja korisnika na terenu.

Aplikaciona platforma	Integracija	Otvorenost platform	Dostupnost korisnicima	Tehničke karakteristike						
				Akcelerometar	GPS	Multitouch ekran	Prepoznavanje govora	Otvorena	Mobilne komunikacione tehnologije	Na više hardverskih platformi
	Na kojim kategorijama uređaja je dostupna platform	U kom stepenu platform omogućava izmene i prilagođenje	Zrela: dostupna već neko vreme Skorašnja: dostupna ali se još razvija Kratkoročna: u toku naredne godine Dugoročna: u toku narednih par godina							
iPhone OS	Smartphone	Aplikacije trećih proizvođača	Zrela	Da	Da	Da			Da	
Android	Smartphone i računari u vozilu	Open source	Skorašnja	Da	Da	Da	Da	Da	Da	Da
Microsoft Auto	Računari u vozilu	Closed source	Skorašnja	Da	Da		Da		Da	
MeeGo	Smartphone i računari u vozilu	Open source	Kratkoročna	Da	Da	Da		Da	Da	Da
Evropska ITS referentna platforma	Računari u vozilu	Standard	Dugoročna	Da	Da				Da	Da

Tabela 3.2 Pregled karakteristika dostupnih mobilnih platformi za korišćenje u vozilima

Kako bi demonstrirali koncept primene socijalnih mreža u saobraćaju u ovom radu je predstavljen demo pod nazivom *Drive and Share (DaS)* (Lequerica, Garcia Longaron et al., 2010) za iPhone platformu. Ova mobilna aplikacija omogućava vozačima i putnicima da razmenjuju georeferencirane multimedijalne poruke o saobraćaju koje mogu da sadrže audio poruke, fotografije ili video. Kako bi postigli maksimalnu zastupljenost na terenu kod najvećeg mogućeg broja korisnika autori su sistem zamislili kao Web zasnovan sa najvećim procentom funkcionalnosti koje se izvršavaju u okviru infrastrukture (na serverskoj strani). Slika 3.4 prikazuje arhitekturu DaS sistema. Infrastruktura se sastoji iz tri grupe komponenti: IMS (IP Multimedia Subsystem), DaS Backend i M2M platforme.

M2M platforma je zadužena za automatizaciju prikupljanja podataka i njihovo praćenje. Podatake prikupljene iz vozila (niz lokacija) skladišti i primenom odgovarajuće obrade može da izvlači određene šablone u kretanju korisnika. Takođe analizom podataka prikupljenih sa vozila može i autonomno detektovati saobraćajne nesreće i druge kritične saobraćajne događaje.



Slika 3.4 Arhitektura Drive and Share (DaS) sistema (Lequerica, Garcia Longaron et al., 2010)

DaS Backend je zadužen za procenu relevantnosti prijavljenih saobraćajnih događaja, isporuku obavještenja zainteresovanim korisnicima (na osnovu MBMS grupa) i procenu trajanja (vremena prestanka važenja) prijavljenih saobraćajnih događaja.

Kao što je već naglašeno jako važan aspekt socijalnih mreža je anonimnost korisnika. U zavisnosti od situacije neophodno je omogućiti korisniku da bira željeni stepen anonimnosti. IMS podsistem se između ostalog bavi ovim problemom tako što koristi nezavisne Identity Provider-e kako bi korisnicima dodelio privremeni identitet koji se ne može povezati sa konkretnim licem i ličnim podacima.

Na klijentskoj strani (mobilna aplikacija) autori su se trudili da maksimalno iskoriste napredne HMI koncepte kako bi minimizirali nepotrebnu manuelnu interakciju korisnika (vozača) sa sistemom. Slika 3.5 prikazuje nekoliko ekrana korisničkog interfejsa *DaS* sistema. U implementaciji korisničkog interfejsa autori su uočili presudan značaj podrške platforme za glasovnu tehnologiju. To podrazumeva mogućnost platforme da korisnik glasom izdiktira tekst poruke i da platforma može da pročita sadržaj primljene poruke od sistema.



Slika 3.5 Korisnički interfejs *DaS* mobilne aplikacije

Naprilagođenost koncepta socijalnih mreža upotrebi od strane vozača u vozilu koje se kreće se prvenstveno ogleda u neadekvatnom korisničkom interfejsu. Većina rešenja ovog tipa podrazumeva manuelni unos informacija o stanju u saobraćaju i zapaženim saobraćajnim događajima. U istraživanjima pomenutim u ovom poglavlju je to upravo i identifikovano kao osnovna mana kolaborativnih saobraćajnih informacionih sistema zasnovanih na konceptima socijalnih mreža. Podeljena pažnja vozača tokom upravljanja vozilom je značajan bezbednosni problem i anulira sve prednosti koje ovakvi sistemi pružaju vozačima u vidu obaveštenja i upozorenja. Autori se generalno slažu u identifikaciji potrebe da ovakvi sistemi autonomno prikupljaju podatke sa različitih senzora na vozilu i bez interakcije sa korisnikom u sistem šalju obaveštenja o detektovanim događajima i stanju u saobraćaju. Socijalne mreže u domenu saobraćaja su prirodni korak u evoluciji i razvoju inteligentnih transportnih sistema za podršku vozačima kao što je prikazano u radu (Weiss i Lockhart, 2011).

3.2 Lokacioni podaci o kretanju vozila - *Floating Car Data*

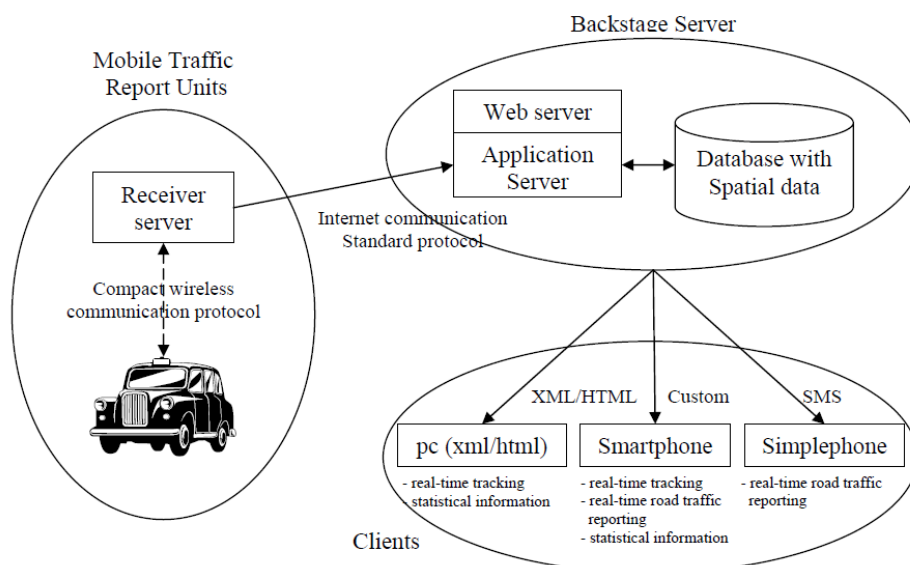
Danas široko zastupljeni mobilni uređaji za navigaciju koji se koriste u vozilima kao osnovni senzor za određivanje lokacije koriste GPS prijemnik. Ovi senzori se koriste izolovano samo u svrhu pozicioniranja vozila na putnoj mreži kako bi bilo moguće izračunavanje optimalne rute. Osim trenutne geografske lokacije GPS prijemnik daje i informaciju o trenutnoj brzini i pravcu kretanja vozila. Istraživači su relativno rano uočili mogućnost prikupljanja ovih podataka o lokaciji i brzini i potencijal generisanja informacija o stanju u saobraćaju objedinjenom analizom ovako prikupljenih podataka od grupe vozila koja se kreće po putnoj mreži. Ovi podaci se zajednički nazivaju *Floating*

Car Data (FCD) i po njima i ova kategorija kolaborativnih saobraćajnih informacionih sistema često dobija naziv. Ovakav automatizovan pristup prikupljanja podataka o stanju u saobraćaju rešava osnovnu manu kolaborativnih socijalnih mreža namenjenih vozačima, a to je potreba za manuelnim unosom. Automatizacija značajno popravlja bezbednost ovih sistema tako što ih čini potpuno transparentnim za korisnike-vozače.

Traffic research group sa Aalborg univerziteta u Danskoj je pokrenula istraživanje u pravcu automatizacije detekcije saobraćajnih gužvi pod nazivom REMOTE. Ovo istraživanje je sumirano u radu (Kristian Torp, 2005). Istraživači su imali konzervativan pristup automatizaciji detekcije saobraćajnih gužvi kroz hibridni pristup. Ovaj hibridni pristup podrazumeva kombinaciju prikupljanja sekvenci lokacija i brzina sa GPS prijemnika u vozilu i manuelnog prijavljivanja saobraćajnih gužvi korišćenjem namenskih tastera instaliranih u vozilu. Sam Floating Car Data koncept podrazumeva korišćenje vozila koja sa određenom frekvencijom obilaze deo putne mreže od interesa i ta vozila služe kao mobilni senzorski čvorovi. Istraživači u ovoj oblasti, uključujući i autore ovog rada, su rano uočili da flote poslovnih vozila kao što su taksi ili dostavna vozila naročito pogodni za korišćenje u FCD sistemima zato što se sa određenom pouzdanošću može tvrditi da takva vozila relativno pravilno obilaze putnu mrežu na kojoj se žele detektovati nepravilnosti u toku saobraćaja (saobraćajne gužve). Konkretno, autori ovog rada su u svom istraživanju koristili flotu od 10 taksi vozila. Taksi vozila su bila naročito pogodna zato što su već imala instalirane GPS prijemnike kao deo sistema za praćenje flote vozila i taksi služba ima svoj radio komunikacioni sistem tako da prenos podataka od vozila do centrale nije predstavljao poseban trošak. Slika 3.6 prikazuje arhitekturu REMOTE FCD sistema.

Arhitektura REMOTE FCD sistema je prilagođena korišćenju postojeće radio telekomunikacione infrastrukture. Svako taksi vozilo uključeno u projekat u pravilnim vremenskim intervalima (5 sekundi) šalje svoju lokaciju i trenutnu brzinu. Osim tih podataka šalje se i informacija da li je vozač pritisnuo taster koji označava ulazak u saobraćajnu gužvu ili izlazak iz saobraćajne gužve. U prvom koraku ovi podaci se šalju *Receiver server-u* korišćenjem namenskog *Compact wireless communication protocol-a* prilagođenog radio linkovima male brzine. *Backstage server* skladišti ovako prikupljene podatke u geoprostornoj bazi podataka i dalje može po potrebi da ih isporuči krajnjim korisnicima korišćenjem PC Web aplikacije, *smartphone* aplikacije ili SMS-om korisnicima takozvanih *simplephone* mobilnih uređaja. Komunikacija između *Receiver*

Server-a i *Backstage server-a* nije kritična po pitanju brzine i kapaciteta linka tako da se odvija po HTTP protokolu.



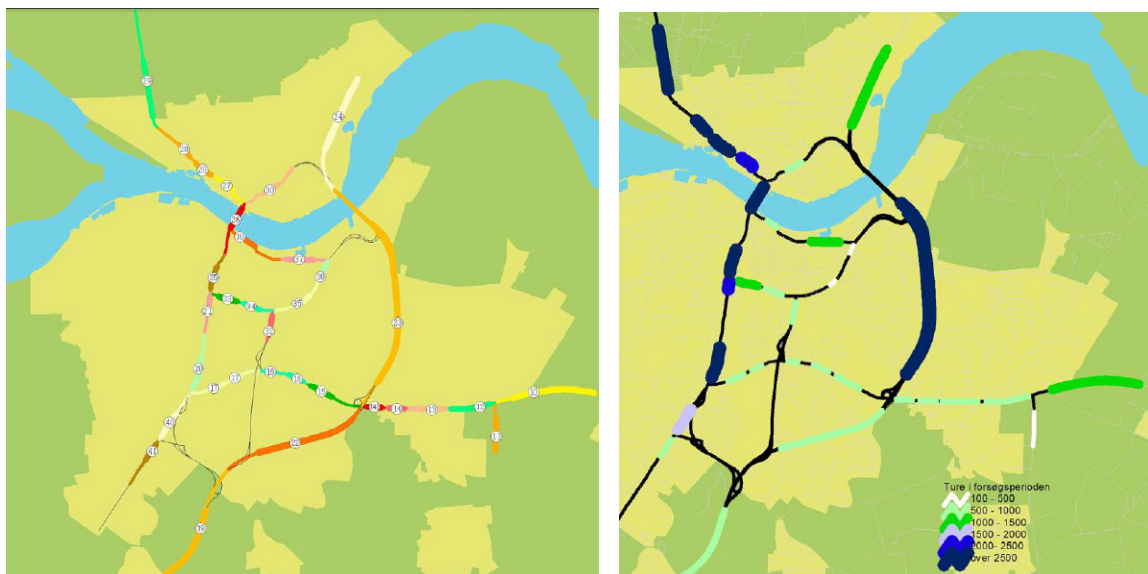
Slika 3.6 Arhitektura REMOTE FCD sistema (Kristian Torp, 2005)

U procesu identifikacije saobraćajnih gužvi hibridnim FCD metodom identifikovana su tri osnovna problema: da li je algoritam skalabilan kako bi se primenio na velike putne mreže, kako kombinovati manuelno prijavljivanje saobraćajnih gužvi sa automatizovanom detekcijom na osnovu GPS pozicija i kako blagovremeno obavestiti vozače kada se saobraćajna gužva formirala i kada je prestala. Algoritam koji autori predlažu na putnoj mreži identifikuje segmente koji se nalaze između dve raskrsnice i koje nazivaju *Reporting stretch*. Na svakom od ovih segmenata identifikuju se delovi koji su pravi, bez semafora i sličnih prepreka i na kojima se može pretpostaviti da će vozila saobraćati maksimalnom dozvoljenom brzinom. Ovi delovi se nazivaju *Measuring stretch*. Jedan *Reporting stretch* segment može sadržati više *Measuring stretch* delova. Ukoliko se detektuje zastoje na bilo kom od pripadajućih delova za merenje (*Measuring stretch*) na tom celokupnom segmentu putne mreže (*Reporting stretch*) se smatra da postoji saobraćajna gužva. Manuelnim izborom segmenata puta koji se nadgledaju (*Measuring stretch*) moguće je ovaj algoritam skalirati na velike putne mreže bez gubitka pouzdanosti detekcije. U istraživanju je zaključeno da se na ovaj način sa samo 28% GPS pozicija koje se koriste u algoritmu pouzdano može pokriti gradska putna mreža.

Pitanje kombinovanja manuelne prijave i automatske detekcije saobraćajnih gužvi je rešen primenom težinskih faktora. Pri tome manuelna prijava kao najpouzdanija ima duplo veći težinski faktor od bilo kog automatski detektovanog tipa saobraćajne gužve.

Inače, autori su podelili na neznatne, inicijalne, velike i kritične i adekvatno im dodelili težinske faktore. Takođe, obzirom da se kao mobilni senzorski čvorovi koriste taksi vozila koja se mogu zaustaviti bilo gde da prime ili ostave putnike, uključujući i *Measuring stretch* delove putne mreže identifikovan je postupak skladištenja prijave o detektovanim gužvama u ograničenom FIFO baferu koji je povezan sa svakim *Measuring stretch* segmentom. Stepen detektovane saobraćajne gužve se dobija sumiranjem vrednosti u baferu u okviru prozora pri čemu se takođe koriste težinski faktori. Najnoviji podatak u baferu ima težinu 0.5, a najstariji 0.1 pri čemu suma težinskih faktora daje 1. Tako, sumiranjem i kombinacijom težinskih faktora po vremenu (u okviru bafera) i po pouzdanosti (manuelna ili automatska detekcija) autori su postigli optimalnu pouzdanost detekcije koja filtrira slučajna zaustavljanja.

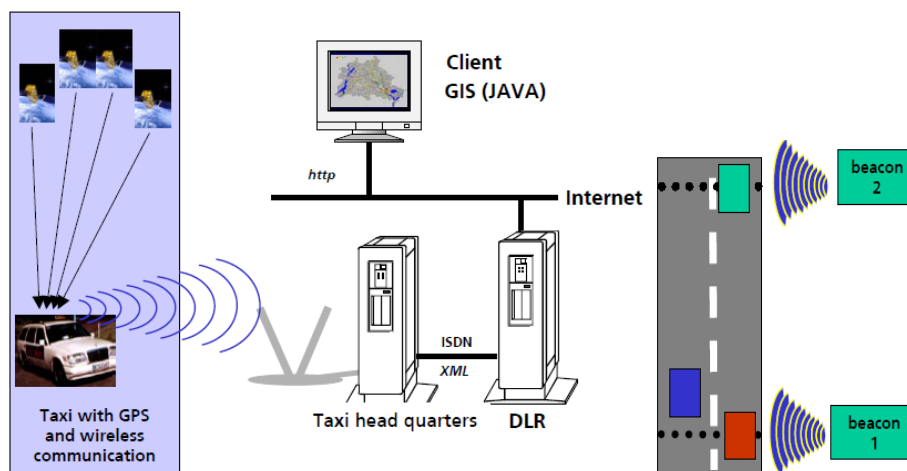
U svrhu testiranja REMOTE FCD sistema u gradu Aalborg-u je identifikovano nekoliko segmenata puta na kojima se rade merenja. Prikupljeni rezultati su konzistentni sa očekivanim i prikazuju česta zagušenja na putnim pravcima koji povezuju sever sa južnim delom grada. Slika 3.7 prikazuje identifikovane segmente puta na kojima se radi merenje i rezultate detektovanih saobraćajnih gužvi.



Slika 3.7 Rezultati testiranja REMOTE FCD sistema u gradu Aalborg-u

Na osnovu ovih praktičnih testova se pokazalo da flota od 10 taksi vozila nije dovoljna kako bi se u realnom vremenu pokrio grad ove veličine. Samim tim se postavlja i pitanje obima flote mobilnih senzorskih čvorova (vozila) koja je potrebna da bi se adekvatno pokrila određena mreža puteva. U ovom radu istraživači samo uočavaju, ali i ne daju odgovor na to pitanje.

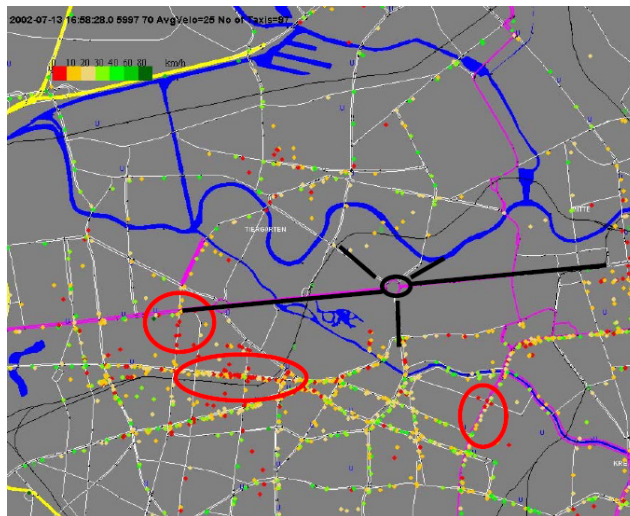
Prednosti korišćenja samih vozila koja učestvuju u saobraćaju kao senzora za merenje prosečne brzine su istaknuta i u radu (Schäfer, Thiessenhusen et al., 2002). U ovom istraživanju, kao i u prethodnom, je takođe korišćena flota taksi vozila. U ovom slučaju, u gradu Berlinu, je praćeno 300 taksi vozila. Svako od ovih vozila prijavljuje kontrolnom centru svoju lokaciju i brzinu. U ovom radu je Floating Car Data koncept klasifikovan u dve verzije implementacije: aktivni i pasivni. Tradicionalni (aktivni) FCD zahteva nešto skuplju opremu u vozilima, GPS prijemnik i bežičnu komunikacionu opremu za slanje pozicija i brzina kontrolnom centru. Alternativni pristup koji autori identifikuju, ali ne istražuju detaljnije, je pasivni FCD koji podrazumeva korišćenje jeftinijih radio tagova na vozilima i veći broj primopredajnika instaliranih pored puta. Iako je pasivan FCD mnogo bliži tradicionalnim sensorima za brojanje i klasifikaciju saobraćaja koji se ugrađuju u putnu infrastrukturu autori naglašavaju da identifikacijom vozila tagovima rešavaju problem lokalizovanog merenja na mestu na kome je instaliran senzor i omogućavaju identifikaciju pojedinačnih vozila na dužim segmentima puta. Na taj način se dobija potpunija slika o stanju u saobraćaju ne samo na mestima na kojima su instalirani primopredajnici već i na delovima puta između njih. Slika 3.8 daje šematski prikaz aktivnog i pasivnog Floating Car Data koncepta.



Slika 3.8 Aktivni i pasivni Floating Car Data koncept

Zanimljivo je da u ovom radu autori predviđaju i mogućnost korelacije prikupljenih FCD podataka sa drugim izvorima saobraćajnih informacija. Na ovaj način potvrđuju da FCD sistemi nikako ne treba da predstavljaju zamenu, već dobru dopunu tradicionalnih saobraćajnih informacionih sistema i izvora informacija. U arhitekturi je to predstavljeno vezom sa DLR serverom (German Aerospace Center) koji pruža meteorološke podatke. Korelacija FCD podataka o saobraćajnim gužvama sa

meteorološkim podacima, kao i podacima o radovima na putu i incidentima daje novu dimenziju ovim saobraćajnim informacionim servisima. Tako, ne samo da je moguće identifikovati lokaciju i period pojave saobraćajnih gužvi već je moguće odrediti i uzrok njihovog nastajanja. U eksperimentalnim rezultatima autori potvrđuju da je broj od 300 aktivnih taksi vozila dovoljan da za sat vremena da kompletnu i detaljnu sliku o stanju u saobraćaju u centru grada Berlina. Bez ulaska u detalje na ovaj način potvrđuju da postoji optimalan i minimalan broj vozila koji se koriste kao mobilni senzori kako bi se efikasno pokrila određena geografska oblast sa određenom gustinom putne mreže.



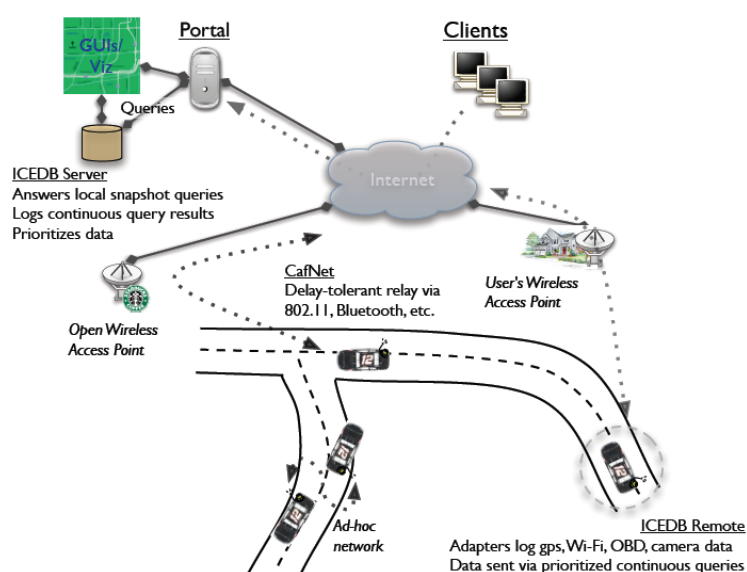
Slika 3.9 Rezultati snimanja stanja u saobraćaju korišćenjem 300 taksi vozila u Berlinu

Takođe, u ovom radu se naglašava i potreba klasifikacije vremenskih intervala u kojima se vrši snimanje podataka sa vozila. Obzirom da se u FCD sistemima najčešće koriste komercijalna vozila autori su pravilno identifikovali da svaki tip flote ima specifične karakteristike kretanja vozila i specifične trajektorije. Tako, na primer, kada se koriste taksi vozila potrebno je identifikovati na neki način status vozila koji može biti: obavlja vožnju, slobodan i čeka, čeka mušteriju itd. Pravilnim označavanjem statusa vozila izbegava se pogrešno identifikovanje saobraćajnog zastoja u trenucima kada taksi vozilo na primer čeka mušteriju.

3.3 Vozila kao mobilni senzorski čvorovi

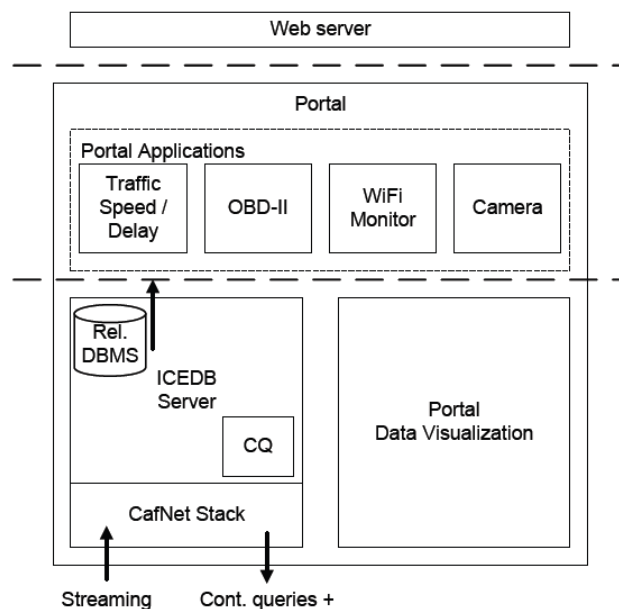
Zajedničke karakteristike prethodno opisanih FCD zasnovanih saobraćajnih informacionih sistema uključuju centralizovanu obradu prikupljenih podataka na serverskoj strani i kontinualno slanje nizova pozicija sa trenutnom brzinom. Takođe, nad prikupljenim podacima se uvek primenjuje postprocesiranje u vidu nekog map matching

algoritma sa putnom mrežom. Takođe, neki istraživači su uočili i širi potencijal vozila koja se kreću po putnoj mreži kao mobilnih platformi za najrazličitije tipove senzora. Sa tom idejom je na Massachusetts Institute of Technology u okviru laboratorije za računarstvo i veštačku inteligenciju razvijena CarTel platforma (Hull, Bychkovsky et al., 2006). Osnovna ideja za kreiranjem mobilne platforme heterogenih senzora je nastala zbog sve veće dostupnosti mobilnih računarskih uređaja koji su opremljeni najrazličitijim sensorima, ali i zbog sve veće potražnje za aplikacijama koje korisnicima u realnom vremenu mogu dati informacije o stanju u spoljašnjem svetu. Domen primene nije samo saobraćaj, iako su prvi praktični koraci načinjeni upravo u ovom smeru, već praćenje klimatskih pojava, kontrola zagađenja, auto-dijagnostika, pa čak i korišćenje korisničkih mobilnih uređaja kao oportunističke mreže za prenos podataka. U sve ove svrhe se već niz godina koriste statičke senzorske mreže, ali istraživači u prvi plan kao prednost mobilnih senzorskih čvorova ističu efikasnost, njihovu sposobnost da manji broj senzora za kraće vreme pokrije veću geografsku oblast. Ova prednost naročito dolazi do izražaja kod skupih tipova senzora koji se recimo koriste u kontroli zagađenja životne sredine. CarTel platforma uključuje namensku računarsku jedinicu u vozilu koja predstavlja tačku povezivanja svih senzora. Ova jedinica koristi oportunistički pristup komunikacije kako bi podatke isporučila portalu (centralnoj lokaciji). Oportunistički pristup u komunikaciji podrazumeva korišćenje javnih bežičnih mreža (WiFi) kako postaju dostupne tokom kretanja vozila, pa čak i korišćenje ostalih vozila sa ovom opremom kao nosioca paketa podataka (data muling koncept). Slika 3.10 prikazuje logičku arhitekturu CarTel platforme.



Slika 3.10 Logička arhitektura CarTel platforme

Pomenuti portal je centralna komponenta koja prikuplja sve podatke prikupljene sa priključenih senzora u svim vozilima koja su uključena u sistem. Druge dve komponente platforme kontrolišu način na koji mobilni senzorski čvorovi prikupljaju, obrađuju i isporučuju podatke. Obzirom da je tipično okruženje u kome sistem funkcioniše sa sporadično dostupnom mrežom istraživači su definisali Intermittently Connected Database (ICEDB) kao procesor kontinualnih upita prilagođen funkcionisanju u mrežama sa velikim kašnjenjima. Mrežna komponenta koja može isporučivati podatke do portala u uslovima oportunističke mreže je nazvana CafNet (Carry-and-Forward Network). Aplikacioni model CarTel platforme je centralizovan. Aplikacije koje se izvršavaju na portalu registruju kontinualne upite korišćenjem ICEDB komponente. Ovi registrovani upiti imaju za posledicu da mobilni čvorovi počnu da šalju relevantne podatke portalu. Ovde je zanimljivo napomenuti da se sa uvođenjem različitih heterogenih tipova senzora uočava potreba za lokalnim (na samim mobilnim uređajima) preprocesiranjem sirovih podataka dobijenih direktno sa senzora i njihovo grupisanje po prioritetima pre slanja na oportunističku mrežu. Značajan broj senzora daje podatke brzinom većom nego što mreža podržava tako da je često potrebno implementirati promenljivu frekvenciju uzorkovanja, različite metode filtriranja kao i sumarizacije na samom računarskom čvoru u vozilu. Slika 3.11 prikazuje prethodno opisanu softversku arhitekturu CarTel platforme.

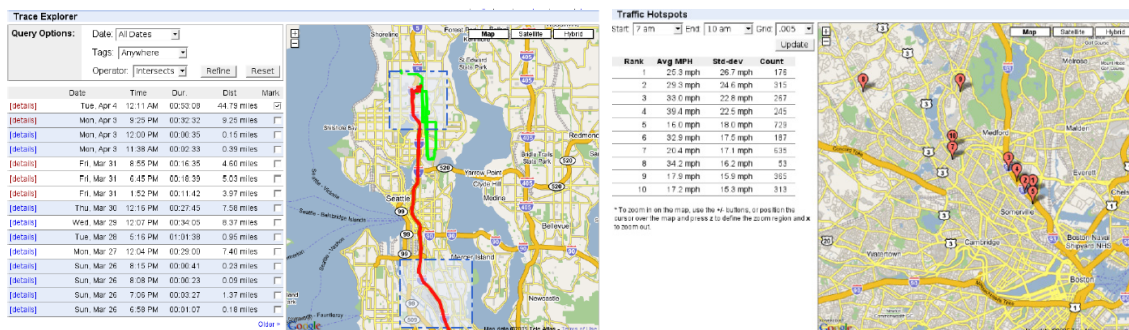


Slika 3.11 Softverska arhitektura CarTel platforme

Ovakva arhitektura logički centralizuje kontinualne upite, ali se oni izvršavaju distribuirano na većem broju senzorskih čvorova. Adapteri, kao softverske komponente

instalirane u vozilima imaju za zadatak da se bave detaljima pribavljanja podataka direktno sa senzora i njihovog preprocesiranja. Razvijeni su adapteri za GPS prijemnik, OBDII interfejs za dijagnostiku vozila, WiFi mreže i kamere. U zavisnosti od kontinualnih upita adapteri u lokalnom baferu vrše i prioritizaciju generisanih poruka koje treba isporučiti centralnom portalu. Primer sumarizacije je efikasno usrednjavanje snimljenih trenutnih brzina u cilju formiranja prosečnih brzina po segmentu putne mreže. Centralizovan pristup prikupljanja podataka sa mobilnih senzorskih čvorova ima prednost jednostavnije redistribucije ovako generisanih podataka krajnjim korisnicima.

I istraživači iz ove grupe su pravilno uočili da je za implementaciju jednog ovakvog sistema potrebna flota vozila sa relativno stabilnom frekvencijom obilaska putne mreže koja se nadgleda tako da su CarTel sistem implementirali na floti od 27 limuzina za iznajmljivanje. U ovom radu autori su identifikovali nekoliko oblasti primene CarTel platforme od kojih je najočiglednija u oblasti praćenja gradskog saobraćaja. Upotrebom samo GPS senzora i registrovanjem odgovarajućeg kontinualnog upita u sistemu formira se profil potrebnih vremena za put između izabраниh delova grada. Takođe, na sličan način se na teritoriji grada mogu identifikovati tačke čestih saobraćajnih gužvi. Slika 3.12 ilustruje dve pomenute aplikacije CarTel platforme u domenu gradskog saobraćaja.



Slika 3.12 Primena CarTel platform u domenu gradskog saobraćaja

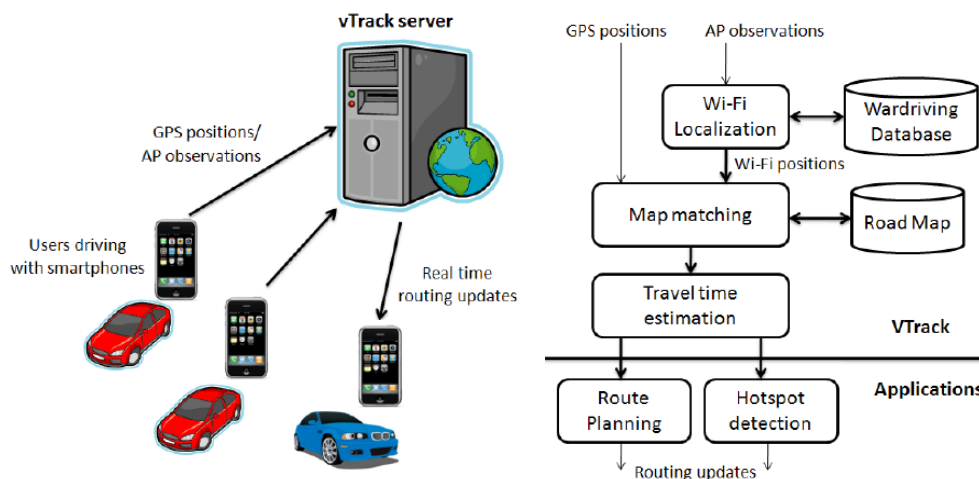
U ovom istraživanju se pominju i drugi potencijali primene ove tehnologije kao što su analiza dostupnosti javnih WiFi mreža (Wardriving), analiza stilova vožnje vozača kao i mogućnost formiranja virtuelnih mobilnih ISP struktura. U analizi je zaključeno da pristup oportunističke WiFi mreže može biti efikasan pri brzinama manjim od 60km/h.

Primarna inovacija prethodno opisanog projekta je proširenje i prilagođenje FCD koncepta u pravcu korišćenja većeg broja heterogenih senzora. U okviru istrog istraživačkog tima projekat VTrack (Thiagarajan, 2009) koji je baziran na CarTel platformi ide korak dalje. I dalje je primarni fokus domen gradskog saobraćaja, ali autori

uočavaju mogućnost korišćenja mobilnih uređaja šireg kruga anonimnih i slučajnih korisnika koji se kreću po gradu. Upotrebom savremenih *smartphone* uređaja koji imaju integrisani veliki broj različitih senzora se eliminiše potreba za instalacijom specijalizovanog računarskog hardvera u vozila i čak se mobilni senzorski čvorovi ne ograničavaju samo na vozila već se mogu koristiti i pešaci, biciklisti, motorciklisti i sl.

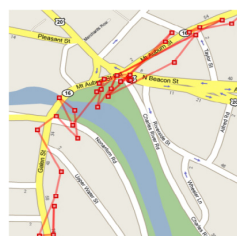
Ovakvim masovnim proširenjem baze mobilnih senzorskih čvorova se javlja pitanje načina lociranja korisnika i izbora korišćenih senzora. Korišćenje *smartphone* uređaja treba da bude potpuno transparentno za korisnika koji predstavlja mobilni senzorski čvor. Zato se u ovom radu prvenstveno bave pitanjima korišćenja različitih tehnika nepreciznog lociranja i njihovih karakteristika u pogledu kompromisa između preciznosti i potrošnje energije. Testiranje je sprovedeno na 25 korisnika sa iPhone 3G aplikacijom. Konacni cilj analize kretanja ovih korisnika koji predstavljaju mobilne senzorske čvorove je procena vremena puta od tačke do tačke u određenim delovima grada. Slika 3.13 prikazuje arhitekturu VTrack sistema koji se koristi za procenu vremena puta po gradu.

Kao što je već rečeno autori se u radu fokusiraju na mogućnost korišćenja alternativnih metoda lociranja korisnika u gradu. Obzirom da se koristi vrlo široka grupa anonimnih korisnika sa heterogenim *smartphone* uređajima ne postoje garancije da će GPS prijemnik uvek biti dostupan. Takođe, prijem GPS signala u gradu u uslovima „urbanih kanjona“ nije uvek zagarantovan tako da je istraživana mogućnost lociranja korišćenjem WiFi mreža. Kao što 3.13 prikazuje koristi se baza prethodno snimljenih signala sa lokalnih WiFi access-point-a (Wardriving database). Tipičan GPS prijemnik može locirati korisnika u krugu prečnika 5-10 metara, dok je WiFi metod lociranja značajno manje precizan, tipično locira korisnika u krugu prečnika 50-100 metara. Ovakav sistem lociranja je korišćen kako bi korisnicima omogućio funkcionalnost planiranja rute na osnovu dinamičkih podataka o stanju u saobraćaju i funkcionalnost identifikacije lokalnih tačaka zagušenja. U radu je pokazano da se podaci prikupljeni WiFi metodom lociranja mogu efikasno koristiti za izbor optimalne rute po kriterijumu trajanja puta, ali da su mnoge lokalne tačke zagušenja u saobraćaju propuštene zbog male preciznosti metode. I u ovom slučaju je primenjen princip centralizovanog prikupljanja i obrade podataka. Obzirom da se radi samo sa pozicijom, podaci se od mobilnih senzorskih čvorova do kontrolnog centra šalju u obliku u kome su prikupljeni sa senzora.



Slika 3.13 Arhitektura VTrack sistema

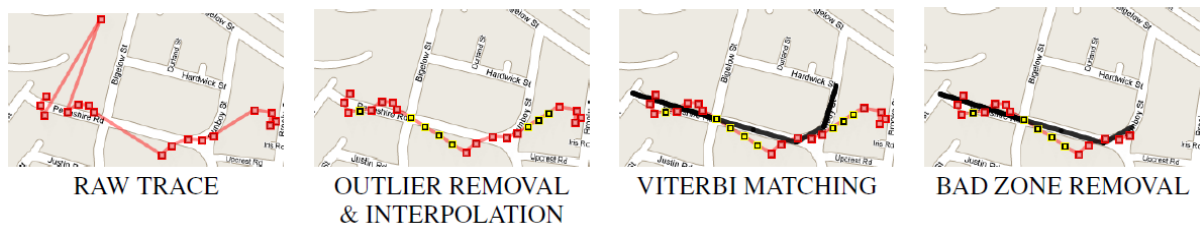
Fokus istraživanja je na alternativnim metodama lociranja korisnika u gradu, odnosno zamena GPS zasnovanog lociranja lociranjem koje koristi WiFi access-point-e. U istraživanju je zaključeno da su zahtevi u pogledu preciznosti lociranja i smanjenja potrošnje energije međusobno suprotstavljeni. GPS senzor u optimalnim uslovima daje mnogo precizniju lokaciju korisnika, ali je njegova potrošnja skoro 20 puta veća. Kada se tome dodaju i ograničenja upotrebe GPS prijemnika u urbanim uslovima WiFi metod lociranja postaje vrlo atraktivan u ovom slučaju upotrebe. Jedan od čestih pristupa smanjenju potrošnje GPS prijemnika je smanjenje frekvencije lociranja, ali ovo istraživanje pokazuje da taj pristup ima skoro zanemarnjiv pozitivan efekat na potrošnju. Bitno je napomenuti da je u ovom istraživanju veliki kolor ekran savremenih *smartphone* uređaja identifikovan kao značajan potrošač prilikom rada sistema. Stoga, iako su lokacije dobijene WiFi metodom lociranja apsolutno posmatrano vrlo neprecizne, primenom naprednijih map-matching algoritama ovi podaci se mogu efikasno iskoristiti za procenu stanja u saobraćaju. Slika 3.14 daje primer putanje po gradu snimljene WiFi metodom lociranja korisnika i poređenje potrošnje energije ove i GPS metode lociranja.



Location Mechanism	Sampling Period	Lifetime
None	-	7 h
GPS	continuous (1/sec)	2 h 24 m
GPS	30 sec	2 h 27 m
GPS	2 min	2 h 44 m
WiFi	continuous (1/sec)	6 h 30 m

Slika 3.14 Primer putanje snimljene WiFi metodom lociranja i poređenje energetske zahtevnosti ovog i GPS metoda lociranja (Thiagarajan, 2009)

Iako se mnogi radovi iz ove oblasti pozivaju na map-matching algoritme tradicionalni algoritmi nisu prilagođeni velikom broju tačaka koje pristižu u sistem i postavlja se pitanje njihove primene nad nepreciznim skupom podataka koji se dobija iz WiFi zasnovanog sistema lociranja. Iz tog razloga autori ovog rada primenjuju Viterbi dekodiranje na Hidden Markov Model (HMM) kako bi pretvorili niz neprecizno dobijenih lokacija korisnika u najverovatniji niz segmenata puta po kojima se taj korisnik kretao. Preprocesiranje dobijenog niza lokacije se obavlja u 4 uzastopna koraka kao što je prikazano na slici 3.15.



Slika 3.15 Preprocesiranje niza nepreciznih lokacija (Thiagarajan, 2009)

Prvi korak je uklanjanje velikih lokalnih nepreciznosti uklanjanjem tačaka koje bi imale za posledicu nerealno veliku brzinu kretanja korisnika. Drugi korak je interpolacija putanje tačkama u delovima u kojima nije postojalo WiFi access-point-a. Zatim se primenjuje Viterbi dekodiranje na HMM metod kako bi se identifikovali najverovatniji segmenti puta po kojima se korisnik kretao. Finalni korak preprocesiranja je uklanjanje segmenata puta sa jako malom verovatnoćom.

HMM modelira proces koji ima skup skrivenih stanja i izlaznih promenljivih. Uz svako stanje se vezuje izlazna promenljiva sa određenom verovatnoćom. Za svaki ulazni niz HMM prolazi kroz niz stanja i daje skup izlaznih simbola. Dok je skup izlaza poznat zadatak je utvrditi najverovatniji niz stanja koja daju dati izlaz. Za konkretne prelaze između nepoznatih stanja se takođe vezuju verovatnoće. U map-matching kontekstu nepoznata stanja su segmenti puta, a tačke u kojima je korisnik lociran su izlazi. Verovatnoća prelaza između stanja je verovatnoća da je korisnik sa jednog segmenta puta prešao na neki susedan. Primenom ovog algoritma na slučaj saobraćaja praktično za niz nepreciznih lokacija treba generisati niz segmenata putne mreže. Iz ovog opisa su jasne prednosti robusnog HMM algoritma za map-matching. Ovaj pristup je otporniji na neprecizne nizove lokacija u kojima su neke tačke bliže segmentu puta koji nije ni u kakvoj topološkoj vezi sa segmentom puta na kome je korisnik prethodno bio. Uvođenjem određenih ograničenja u verovatnoće prelaska između stanja autori su postigli vrlo stabilne

rezultate identifikacije najverovatnije rute korisnika. Tako na primer realna verovatnoća prelaza između dva segmenta puta postoji samo ako ti segmenti imaju zajedničku tačku. Takođe, za svaki segment puta postoji realna brzina kojom korisnik može preći taj segment, pa su prelazi između stanja vremenski uslovljeni. Prilikom procene stanja zagušenja u saobraćaju se uzima vreme, a ne prosečna brzina i ova vremena potrebna za prelazak preko nekog segmenta puta se upoređuju sa skaliranim vremenima za svaki segment dobijenim na osnovu saobraćajnih ograničenja brzine. Vreme prelaska svakog segmenta se sastoji iz tri dela: vremena koje je proteklo od realnog ulaska na segment do prve tačke za koju je utvrđeno da je na tom segmentu, vremena između prve i poslednje lokacije korisnika za koje je utvrđeno HMM algoritmom da su na tom segmentu i vremena između poslednje tačke vezane za segment i realnog vremena napuštanja segmenta.

Kao što je u prethodno opisanom istraživanju naglašeno, tehnološki napredak u polju mobilnog računarstva i senzora je omogućio da se FCD koncept primeni ne samo na kontrolisane grupe korisnika/mobilnih senzora već i na široke grupe anonimnih i slučajnih korisnika. Ako se tome doda tendencija uključivanja podataka sa najrazličitijih senzora, a ne samo lokacionog senzora (GPS prijemnika na primer) izuzetan značaj imaju istraživanja optimizacije komunikacije, odnosno smanjenje količine podataka koja se od svakog mobilnog senzorskog čvora šalje do centralne lokacije na obradu. Transparentnost celog procesa za krajnjeg korisnika (koji u sistemu predstavlja mobilni senzorski čvor je ključna kako bi FCD zaživeo sa velikim brojem slučajnih korisnika. Ovim problemom se bavi istraživanje sumirano u radu (Ayala, Jie et al., 2010). Očigledan pristup je smanjenje broja poruka sa lokacijom koje svako vozilo šalje u jedinici vremena. Naivan pristup produženja pravilnog vremenskog interval u kome svako vozilo šalje po jednu poruku sa pozicijom i brzinom, a sa ciljem redukcije saobraćaja vrlo brzo postaje veoma neprecizan i tako formirana slika o stanju u saobraćaju vrlo često ne odgovara realnoj situaciji. Istraživači u ovom radu predlažu da se svakom vozilu dodeljuje verovatnoća sa kojom će to vozilo poslati poruku o svojoj lokaciji i brzini. Ta pridružena verovatnoća se može računati primenom nekoliko strategija. Jedan od pristupa je formiranje kompletnog modela putne mreže na klijentskoj i na serverskoj strani. Pri tome je svakom segmentu putne mreže pridružena prosečna brzina kretanja. Očigledno, neoptimalan pristup bi bio da na kraju prolaska segmentom (napuštanja segmenta) svako vozilo prijavljuje svoju prosečnu brzinu. Zato se za svaki segment definiše vremenski period prikupljanja na kraju koga server

ažurira prosečnu brzinu za taj segment. Takođe, ovo ažuriranje mora biti sinhronizovano sa svim klijentima kako bi kompletan model putne mreže bio sinhronizovan.

Takođe, na klijentskoj strani (na svakom mobilno senzorskom čvoru) je potrebno definisati uslov slanja poruke sa lokacijom i brzinom tako da se ova komunikacija minimizira, a da se ne naruši preciznost formiranog modela saobraćaja. Autori su identifikovali tri pristupa.

1. Deterministički

Deterministički pristup je najjednostavniji. Definiše se maksimalna razlika. Ukoliko apsolutna vrednost razlike trenutne prosečne brzine vezane za segment puta i prosečne brzine koja je sračunata za konkretnog klijenta taj klijent će poslati poruku serveru.

2. Na osnovu cene informacije

Ovaj pristup je modifikacija prethodnog. Dok kod determinističkog se poruka šalje uvek kada je zadovoljen uslov apsolutne vrednosti razlike prosečnih brzina u ovom pristupu je slanje uslovljeno nekom verovatnoćom. Na ovaj način u računanju prosečne brzine za neki segment ne učestvuju svi klijenti (vozila). Osnovni problem kod ovog pristupa je kako odrediti tu verovatnoću. Ova verovatnoća se računa sabiranjem cene komunikacije i cene nepouzdanosti informacije. Najveća mana oba ova pristupa je upravo definisanje maksimalne razlike. Prosečne brzine vozila koje upadaju u ovaj opseg neće uopšte biti prijavljivane tako da ovaj metod u stvari stvara iskrivljenu sliku realnosti.

3. Na osnovu toka podataka

Prethodno pomenute probleme ovaj metod rešava tako što svim vozilima dodeljuje istu verovatnoću slanja poruke o prosečnoj brzini. Ta verovatnoća se računa kao količnik broja potrebnih poruka koje server treba da primi o nekom segmentu kako bi bila postignuta određena pouzdanost procene i procenjenog broja vozila koja će proći datim segmentom tokom perioda merenja.

Floating Car Data koncept predstavlja osnovu mnogih sistema za obaveštavanje javnosti o zagušenjima u saobraćaju koji poslednjih meseci masovno ulaze u javnu upotrebu. Primer implementacije jednog takvog realnog sistema je dat u (Roganović, Stojanović et al., 2011).

Bez obzira na varijacije i optimizacije primenjene na Floating Car Data koncept, a koje su predstavljene u ovom poglavlju, najinovativniji dalji pravac razvoja ovih sistema je uključivanje većeg broja različitih senzora koji zajedno mogu efikasnije dati mnogo detaljniju sliku o stanju u saobraćaju. Ta slika može sadržati ne samo procenu nivoa saobraćajnih gužvi, već i procenu ponašanja vozača, stepen rizika pojedinih segmenata putne mreže i slično.

3.4 *eXtended Floating Car data* – akcelerometar kao izvor saobraćajnih podataka

Istraživanja sumirana u prethodnom poglavlju ukazuju na zanimljivu mogućnost korišćenja vozila i generalno mobilnih računarsko-komunikacionih uređaja kao mobilnih senzorskih platformi. Osim trenutne lokacije i brzine, kao i trajektorije kojom se korisnik kretao, uključivanje dodatnih senzora u ovaj proces prikupljanja podataka omogućava mnogo detaljniji uvid u okolinu u kojoj se korisnici kreću. To je naročito izraženo danas kada tipični mobilni uređaji uz GPS prijemnik sadrže i najrazličitije integrisane senzore kao što su akceleracioni i orijentacioni senzor, kompas, senzor nivoa osvetljenja i buke i slično. Kada se ti senzori primene u domenu saobraćaja jasno je da osim informacije o ruti kojom se korisnik kretao, prosečnoj brzini i mestima na kojima postoje saobraćajne gužve možemo mnogo detaljnije opisati uslove u saobraćaju detekcijom incidentnih situacija, svetlosnih uslova u vožnji, nivou buke na pojedinim delovima putne mreže u gradu i slično. Svi ovi podaci nam mogu omogućiti ne samo formiranje karakteristika saobraćaja i putne infrastrukture već i profila vozača sa karakteristikama ponašanja vozača i stila vožnje u karakterističnim periodima dana, godine, u zavisnosti od svetlosnih uslova, nivoa buke koji ometa pažnju i tako dalje. Svi ovi podaci su od značaja ne samo u svakodnevnom upravljanju saobraćajem već i prilikom dugoročnog planiranja razvoja putne infrastrukture. Ovo proširenje Floating Car Data (FCD) koncepta se u literaturi naziva *eXtended Floating Car Data (XFCD)* (Messelodi, Modena et al., 2009).

Zanimljivo istraživanje u ovoj oblasti proširenja Floating Car Data koncepta je dato u radu (Messelodi, Modena et al., 2009). Autori su zamislili integraciju GPS prijemnika u vozilu sa podacima iz ECU kontrolne jedinice vozila i kamere instalirane u vozilu. Video sa ove instalirane kamere predstavlja osnovu za detekciju detaljnih uslova na putu oko vozila. U istraživanju se fokusiraju na funkcionalnosti detekcije gužve na putu, radova na putu i detekciju saobraćajnih znakova pored puta. Zanimljivo je uočiti da se u ovom

istraživanju zapaža potencijal ovog proširenja FCD koncepta dodatnim sensorima da detektuje ne samo stanje u saobraćaju već i pojedinačne opasne i incidentne situacije što daje dosta detaljniju sliku o stanju na pojedinačnim segmentima putne mreže.

U radu su identifikovane tri kategorije informacija koje vozila mogu slati u kontrolni centar:

1. Osnovne

Osnovne informacije čine identifikacija vozila, vreme i podaci sa GPS primenika: lokacija, pravac kretanja i brzina. Ovo su konvencionalni podaci koji su se i ranije koristili u FCD sistemima.

2. Telemetrijske informacije o stanju vozila

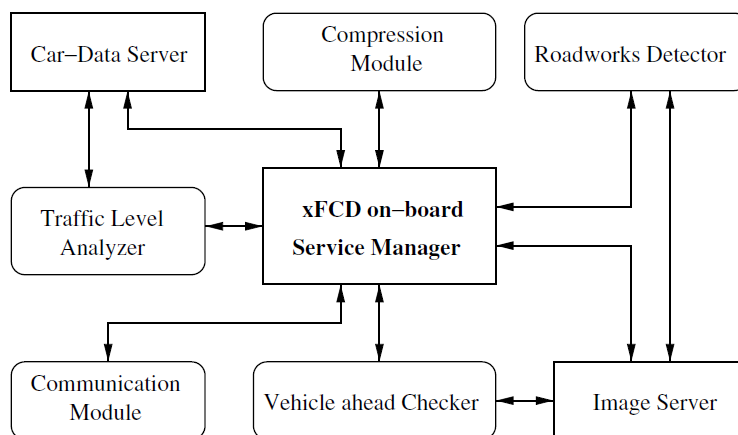
Savremena vozila poseduju centralne računarske upravljačke jedinice (ECU) koje kontrolišu rad svih sistema u vozilu. Povezivanjem na ovu jedinicu korišćenjem standarnog OBDII protokola mogu se preuzeti podaci o stanju vozila. Ti podaci uključuju broj obrtaja motora, status pedala, svetlosne signalizacije, brisača itd. Pristup svim ovim podacima omogućava zaključivanje o stilu vožnje i uslovima u kojima se vozi (naglo ili postepeno ubrzavanje na osnovu broja obrtaja motora), kao i o stanju u neposrednoj okolini vozila (upaljena/ugašena oborena svetla, korišćenje dugih svetala, sirene, upotreba pokazivača pravca, brisača i slično).

3. Proširene informacije o okolini vozila

Podaci iz ove grupe su specifični za ovo istraživanje i pribavljaju se analizom videa sa ugrađene kamere. Analizom video signala autori pokušavaju da detektuju kretanja u koloni (prisustvo drugog vozila na maloj udaljenosti ispred). Takođe, sistemom prepoznavanja saobraćajnih znakova ovakav sistem je u mogućnosti da detektuje početak i prestanak zone radova na putu.

Arhitektura ovog sistema je slična kao i arhitekture opisane u prethodnim poglavljima. Podrazumeva se postojanje kontrolnog centra sa značajnim procesorskim i telekomunikacionim kapacitetima. Svi podaci sa svih mobilnih senzorskih čvorova (vozila) se prikupljaju u ovom centru, u kome se vrši i njihova analiza, agregacija i filtriranje. Takođe, obzirom na specifičnost video kamere kao tipa senzora u radu se naglašava potreba za inteligentnom i lokalizovanom analizom video signala na samom mobilnom senzorskom čvoru (na računarskom uređaju u samom vozilu). Obzirom na ovu

specifičnost komponente sistema na strani mobilnog senzorskog čvora su prikazane na slici 3.16.



Slika 3.16 Komponente mobilnog senzorskog čvora (u vozilu)

Jezgro ovog sistema u vozilu je *ServiceManager* koji kontroliše prikupljanje podataka sa senzora u vozilu kao i pogodan trenutak za slanje paketa kontrolnom centru. *Car Data Server* predstavlja interfejs ka GPS prijemniku i ECU jedinici tako da ovaj modul prikuplja prve dve kategorije prethodno klasifikovanih informacija. Zadatak *Image Server-a* je preuzimanje videa ili fotografija sa priključenih kamera i njihova kompresija i lokalno smeštanje. Obzirom na zahtevnost procesa kompresije za ovo je zadužena posebna komponenta, *Compression Module*. Komunikacija između vozila i kontrolnog centra u slučaju XFCD sistema u zavisnosti od korišćenih tipova senzora može predstavljati usko grlo ovakvih sistema tako da je za optimizaciju komunikacije zadužena posebna komponenta, *Communication Module*. Komponente *Traffic Level Analyzer* i *Vehicle ahead Checker* praktično implementiraju različite algoritme kompjuterskog vida (*computer vision*) i imaju zadatak da detektuju druga vozila i udaljenost od njih. Svrha ovih analiza je procena gustine saobraćaja. Konačno, *Roadworks Detector* takođe implementira metode analize video signala u svrhu detekcije saobraćajnih znakova i detekcije radova na putu.

U slučaju konvencionalnih FCD sistema paketi koje su vozila slala kontrolnom centru nisu bili značajne veličine tako da se u tom slučaju najčešće koristio pristup kontinualnog toka podataka u pravilnim vremenskim intervalima. Autori ovog istraživanja pravilno uočavaju da to u slučaju XFCD sistema nije realno tako da uvode različite modalitete slanja paketa podataka od vozila. Identifikovali su tri modela:

1. Vremenski model

Kao što je već rečeno vremenski model sa fiksnim intervalom slanja nije adekvatan za sve tipove senzora. Iz tog razloga u ovom istraživanju je vremenski model modifikovan tako da se može aktivirati i deaktivirati tako da je slanje sa fiksnim vremenskim intervalom ograničeno na kratke vremenske intervale i najčešće se aktivira nekim događajem.

2. Model slanja aktiviran događajem

Model slanja paketa od vozila do kontrolnog centra aktiviran nekim događajem je osnovna inovacija većine XFCD sistema. Česta je kombinacija ovog i prethodnog modela tako da neki događaj aktivira slanje sa fiksnim vremenskim intervalom, a neki drugi događaj prekida process slanja.

3. Prostorni model

Način komunikacije između vozila i kontrolnog centra je inherentno prostorno uslovljen. Logično je da gradsko okruženje zahteva različit model slanja paketa od prigradskih puteva i autoputeva. Iz tog razloga se prostorni model često kombinuje sa vremenskim. To znači da se ulaskom vozila u neku gradsku prostornu zonu može aktivirati slanje sa kraćim intervalima, a izlaskom na otvoreni autoput na primer aktivira slanje sa dužim intervalima između dve uzastopne poruke.

Još jedna bitna karakteristika lokalizovane analize podataka sa senzora u XFCD sistemima je i različita zahtevnost algoritama analize po pitanju procesorske snage i memorijskih kapaciteta. To je naročito značajno kada se analiza obavlja na ugrađenim računarskim sistemima u vozilima kojima to najčešće nije primarni zadatak i koji se često napajaju iz baterija. Kao rešenje ovog problema autori predlažu dinamičku aktivaciju pojedinih senzora samo u vremenskim intervalima kada je realno da ti senzori mogu detektovati neki relevantni događaj. Takođe, ovo istraživanje predviđa i mogućnost slanja različitih modela aktivacije senzora i modaliteta slanja paketa sa podacima od strane kontrolnog centra pojedinačnim vozilima. Tako na primer, ako *Traffic Level Analyzer* modul detektuje stanje gužve u saobraćaju na osnovu GPS i ECU podataka *Service Manager* može aktivirati modul za video analizu *Vehicle ahead Checker* kako bi se ova informacija potvrdila ako se detektuje vozilo ispred na nekom malom rastojanju što je indikacija da postoji kolona vozila koja se sporo kreće. Ovakvom šemom dinamičke aktivacije postoji mogućnost da su stalno aktivni senzori koji su “jeftini” po pitanju

potrošnje energije i opterećenja ugrađene računarske jedinice, a da se “skuplji” senzori aktiviraju samo na zahtev u kratkim vremenskim intervalima.

Osnovna mana ovako zamišljenog sistema je da zahteva vrlo specifičan hardver u vozilima, tako da nije praktičan za masovnu primenu. To ima za posledicu da se anonimni i slučajni korisnici ne mogu koristiti kao mobilni senzorski čvorovi. Takođe se u istraživanju ne fokusira na oportunističke ad-hoc mehanizme komunikacije između vozila. Danas široko dostupna usluga paketnog prenosa podataka preko mreža mobilnih operatera sa flat tarifama praktično eliminiše potrebu za kompleksnim oportunističkim komunikacionim sistemima.

Kao što je u prethodnim poglavljima napomenuto osnovna prednost koncepta korišćenja vozila kao mobilnih senzorskih čvorova u saobraćaju je efikasnost i ekonomska isplativost. Tradicionalni senzori za detekciju saobraćaja kao što su induktivne petlje su skupi za instalaciju i održavanje, a i trajno su vezani za lokaciju instalacije. Korišćenjem vozila kao mobilnih senzora može se efikasnije pokriti mnogo šira oblast putne mreže. Prethodno predstavljeni istraživački projekti uglavnom koriste flote komercijalnih vozila kao platforme za instalaciju senzora. Ovde se postavlja pitanje potrebnog broja vozila i učestanosti njihovog kruženja po putnoj mreži kako bi ovakvi sistemi dali dovoljno preciznu sliku o stanju u saobraćaju. Takođe, u ovim istraživanjima je često korišćena specifična računarsko-komunikaciona i senzorska oprema koju je neophodno instalirati u vozilima. Obzirom da kvalitet (prostorna rezolucija) informacija o stanju u saobraćaju direktno zavisi od broja angažovanih vozila-senzora alternativni pristup je korišćenje većeg broja anonimnih i slučajnih učesnika u saobraćaju i upotreba univerzalnih *smartphone* uređaja koje danas dobar broj učesnika u saobraćaju već koristi za navigaciju. Ovaj pristup u istraživanjima je dobio naziv oportunističko ili participativno opažanje (*participatory sensing*). Savremeni mobilni uređaji danas imaju integrisan veliki broj senzora koji se mogu iskoristiti za detekciju stanja u saobraćaju. Osim GPS prijemnika na današnjim *smartphone* uređajima su često dostupni mikrofon, akceleracioni senzor, senzor nivoa osvetljenja, magnetni orijentacioni senzor i tako dalje.

Projekat NERICELL (Prashanth Mohan, 2008) razvijan u Microsoft Research India ima za cilj upravo ispitivanje mogućnosti korišćenja univerzalnih *smartphone* uređaja sa integrisanim sensorima u svrhu detekcije saobraćajnih gužvi. Autori pravilno zapažaju da dosadašnja istraživanja u kojima su se koristili specijalizovani ugrađeni računarski sistemi u vozilima ili vozila sa naprednim CAN (Controller Area Network) sistemima su

prvenstveno prilagođena naprednijim zemljama i nisu univerzalno primenljiva. Kao primer uzimaju Indiju kao zemlju u razvoju u kojoj putna infrastruktura nije redovno održavana i na kojoj se mogu sresti vrlo različita vozila, motorcikli, trotočkaši i četvorotočkaši, teška vozila i većina njih je starije generacije bez ikakvih ugrađenih računarskih uređaja. Sa druge strane, savremeni *smartphone* uređaji su široko rasprostranjeni i dobar broj vozača ih koristi tokom vožnje za navigaciju. Identifikovali su osim GPS prijemnika i mikrofona, kao i akceleracioni senzor kao senzore koji su relevantni u domenu detekcije karakteristika saobraćaja. Skoro svi sabračajni događaji koji su relevantni za procenu stanja saobraćaja se mogu detektovati analizom kratkotrajnih sila koje deluju na vozilo. Iz tog razloga se akceleracioni senzor može smatrati primarnim dodatnim sensorom (uz GPS prijemnik) u scenariju participatornog opažanja u saobraćaju. Međutim, zanimljivo je da autori ovog istraživanja uključuju i mikrofona kao relevantan senzor. Pretpostavka je da na raskrsnicama na kojima postoji zagušenje vozači često koriste sirenu (zvučnu signalizaciju). Analizom zvuka dobijenog sa mikrofona *smartphone* uređaja se može povećati pouzdanost identifikacije zagušenih raskrsnica.

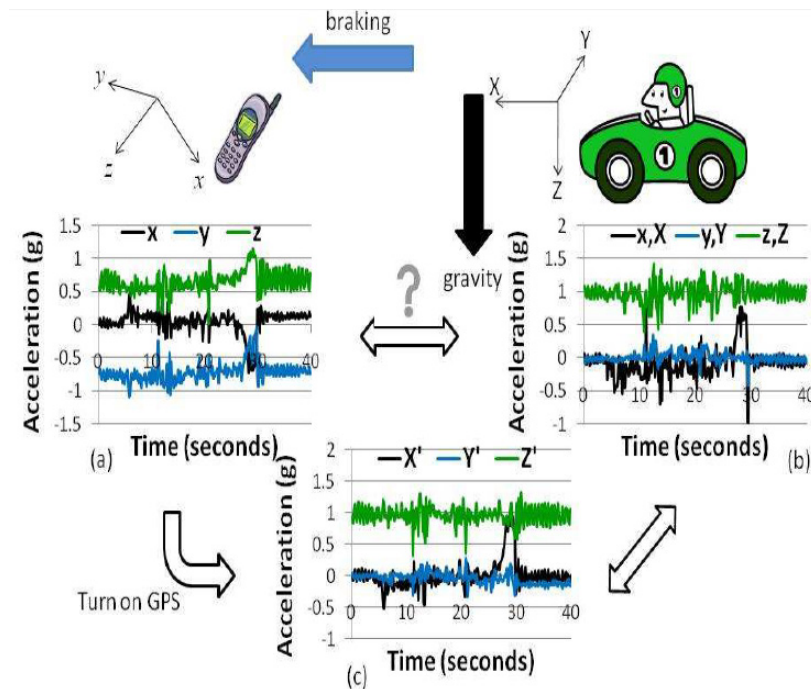
Obzirom da pristup participatornog opažanja koristi mobilne uređaje slučajnih i anonimnih korisnika analiza ove metode prikupljanja podataka o saobraćaju je fokusirana na pitanja potrošnje energije i efikasnog korišćenja dostupne komunikacione infrastrukture. U tu svrhu je sprovedeno i istraživanje prosečne potrošnje tipičnog *smartphone* uređaja uz korišćenje različitih tipova senzora i komunikacionih tehnologija. Slika 3.17 daje pregled potrošnje (trajanja jednog punjenja baterije) tipičnog *smartphone* uređaja uz korišćenje različitih senzora.

Uočava se da je WiFi komunikaciona tehnologija ubedljivo najveći potrošač. Uz široku dostupnost usluge paketnog prenosa podataka mobilnih operatera (GSM radio je u svakom slučaju stalno uključen) ova činjenica praktično eliminiše potrebu za projektovanjem kompleksnih opotrunističkih mreža za prenos podataka korišćenjem WiFi tehnologije i javnih AccessPoint-a. Takođe, zanimljivo je uočiti da korišćenje mikrofona sa algoritmima za analizu zvuka više nego duplo skraćuje trajanje jednog punjenja baterije. Tradicionalno, GPS prijemnik je značajan potrošač. Konačno, stalno korišćenje akceleracionog senzora ne povećava značajno potrošnju, naročito kada je senzor integrisan u telefonu i ne koristi se Bluetooth komunikacija sa njim.

Mode	Life Time Includes Phone Idle	Power (mW) For given mode only
Phone Idle	24h 18m	182.7
Bluetooth (BT) Idle	22h 13m	17.1
BT Device Inquiry	10h 46m	229.5
BT Service Discovery	7h 53m	380.0
WiFi Idle	4h 39m	771.8
WiFi Beacon (Sending)	4h 36m	782.0
WiFi Scan (Receiving)	2h 59m	1298.8
GPS	5h 32m	617.3
Microphone	10h 54m	223.2
Accelerometer (per spec.)	24h 5m	1.65
Accel. with Bluetooth	19h 56m	40

Slika 3.17 Prosečna potrošnja *smartphone* uređaja uz korišćenje pojedinih tipova senzora i telekomunikacionih tehnologija (Prashanth Mohan, 2008)

Tipični akceleracioni senzori koji se danas ugrađuju u *smartphone* mobilne uređaje obavljaju merenja po tri ose Dekartovog pravouglog koordinatnog sistema. U ovom radu reorijentacija podrazumeva poklapanje npr. X-ose koja na mobilnom uređaju ponire u ekran, a na vozilu je u pravcu kretanja. Ova razlika o orijentaciji je prikazana na gornjem delu slike 3.18. Takođe je bitno naglasiti da su ovi akceleracioni senzori DC tipa, odnosno da mere “statičko” ubrzanje, odnosno silu. To znači da će čak i u slučaju potpunog mirovanja senzora izmerena vrednost duž Z-ose biti 1G zbog sile gravitacije. Obzirom da ovi akceleracioni senzori mere praktično silu koja deluje na njihov mehanizam, a ne akceleraciju po definiciji kao promenu brzine, u situaciji ubrzavanja vozila (što predstavlja pozitivnu promenu brzine duž pozitivne X-ose akcelerometra) merenja će dati negativne vrednosti duž X-ose. Ova sposobnost akceleracionog senzora da meri i silu gravitacije je u ovom konkretnom slučaju i prednost zato što omogućava detekciju orijentacije *smartphone*-a i reorijentaciju izmerenih vrednosti sa akceleracionih senzora. Ovo je potrebno upravo zbog prirode participatornog opažanja. U slučaju korišćenja namenske računarske i senzorske opreme ugrađene u vozilo orijentacija instaliranog akceleracionog senzora je poznata i fiksna. U slučaju participatornog opažanja slučajni korisnici mogu različito montirati i fiksirati svoj *smartphone* uređaj tokom vožnje. Detekcija ove orijentacije je ključna za pravilnu interpretaciju detektovanih sila koje deluju na vozilo. Princip reorijentacije mobilnog uređaja, a samim tim i akceleracionog senzora, je prikazan na slici 3.18.



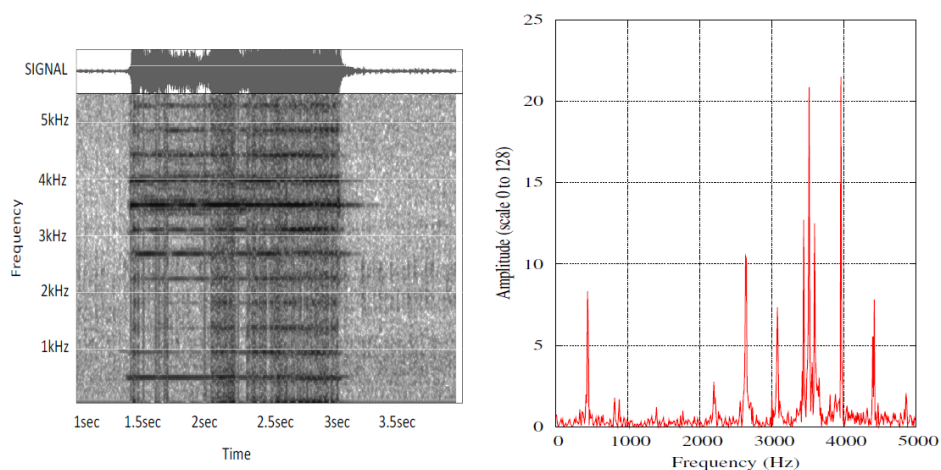
Slika 3.18 Princip reorijentacije akceleracionog senzora

Kako bi pravilno interpretirali sile koje deluju na akceleracioni senzor, potrebno je poravnati ose akceleracionog senzora (x , y i z) sa osama vozila (X , Y i Z). Ovaj problem se često javlja u robotici, a rasprostranjen pristup reorijentaciji je korišćenje Euler-ovih uglova. Pretpostavka je da se svaka dva Dekartova pravouglata koordinatna sistema koji su proizvoljno međusobno zarotirani mogu poklopiti sa tri rotacije. Postoje različite formulacije Euler-ovih uglova, ali je najčešće korišćena Z-Y-Z. Ovo znači da se pravougli koordinatni sistem može dovesti u bilo koje stanje orijentacije sa tri rotacije: prerotacijom oko Z ose, rotacijom (*tilt*) oko Y ose i postrotacijom ponovo oko Z ose. Iako izgleda nelogično da ne postoji rotacija oko X ose zbog prerotacije promena ugla oko Y ose (*tilt*) ima uticaj in a x i na y osu. Vektor sile gravitacije se može uzeti kao ulazni parametar u ovoj proceduri. Ograničenje ovog pristupa je da se ne može ništa zaključiti o rotaciji akceleracionog senzora oko pravca vektora sile gravitacije. Zato je potrebna još jedna sila normalna na vektor sile gravitacije. Autori u tu svrhu koriste silu koja se javlja prilikom kočenja. Ukoliko pretpostavimo da sila gravitacije deluje na Z -osu sila kočenja će delovati na X -osu. Kada drugi senzor, GPS prijemnik na primer, detektuje naglo smanjenje brzine (kočenje) u tom trenutku se radi procena reorijentacije uređaja. Potencijalni problem ovde može predstavljati činjenica da su nagla kočenja skoro uvek vrlo kratka i praktično traju kraće od vremenske rezolucije GPS prijemnika, pa možda neće ni biti detektovana. Drugi problem je što je sila kočenja mnogo manja od sile gravitacije pa to unosi znatnu

nepreciznost u reorijentaciju uređaja. Prosečno oštro kočenje izaziva silu koja je tipično manja od 0.4G.

U projektu NERICELL je na podatke sa akceleracionog senzora primenjen jednostavan algoritam za analizu u cilju detekcije i brojanja naglih kočenja. Nagla kočenja se koriste kao indikacija gužvi u saobraćaju. Isti algoritam primenjen na Z-osu se koristi za detekciju udarnih rupa na kolovozu (kočenje se detektuje uticajem na X-osu).

Neuređene raskrsnice su česte u Indiji gde je ovo istraživanje i sprovedeno. Upotreba zvučne signalizacije je skoro obavezna na ovakvim raskrsnicama tako da su autori ovog rada došli na ideju da iskoriste mikrofoni i analizom snimljenog zvuka detektuju korišćenje sirene odnosno detektuju neregulisanu raskrsnicu sa gužvom. U ovom slučaju, kao i u slučaju analize podataka sa akceleracionog senzora sva analiza se obavlja lokalno na mobilnom uređaju. Iz tog razloga je ključno da primenjene metode analize podataka budu procesorski efikasne. U slučaju analize zvuka nije moguće implementirati jednostavan peak detector kao u slučaju akceleracionog senzora zato što bi tako detektovali bilo kakav jak zvuk. Zato autori predlažu detekciju u frekventnom domenu primenom diskretne Fourier-ove transformacije i analizom spektrograma. Slika 3.19 prikazuje frekventne karakteristike snimljene automobilske sirene. Princip detekcije automobilske sirene se svodi na detekciju peak-ova u spektrogramu u frekventnom opsegu između 2 i 4kHz.



Slika 3.19 Frekventne karakteristike zvuka snimljene automobilske sirene

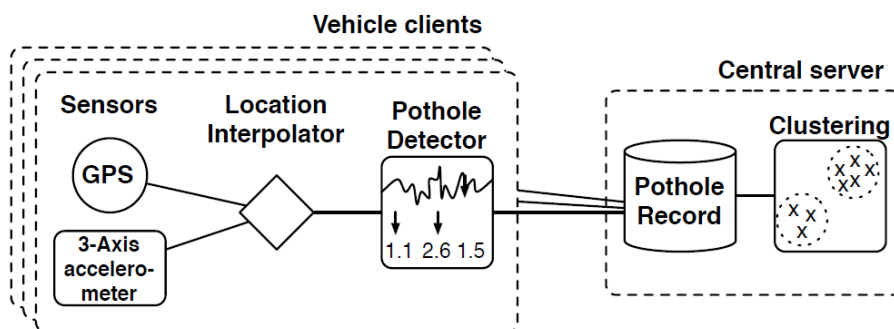
U ovom istraživanju se javlja i zanimljiv koncept dinamičkog aktiviranja senzora u situacijama kada se koristi više senzora sa različitim karakterističnim potrošnjama energije. Tako na primer, akceleracioni senzor je identifikovan kao mali potrošač pa se

koristi za aktivaciju analize zvuka sa mikrofona, kao i za aktiviranje GPS prijemnika. Mana ovog pristupa je da autori ne uzimaju u obzir latenciju aktiviranja senzora. To je u slučaju GPS prijemnika naročito izraženo. Normalna je situacija da GPS prijemnik da poziciju tek nekoliko desetina sekundi po aktiviranju. U slučaju brzih promena u saobraćaju to jednostavno nije dovoljno brzo.

Takođe se postavlja pitanje univerzalnosti pretpostavke da vozači uvek u situacijama gužvi na raskrsnicama koriste zvučnu signalizaciju. To je možda rasprostranjeno u Indiji (gde je istraživanje i rađeno), ali se nikako ne može generalizovati. Iz tog razloga, pristup u kome je mikrofoni primarni senzor nije i najpouzdaniji.

Jedan broj istraživanja se fokusira na ograničen, minimalan, broj senzora koji daju dovoljno podataka kako bi mogli detektovati stanje kolovoza ili stanje u saobraćaju. Korišćenje minimalnog broja efikasnih senzora je bitno zbog ograničenih resursa okruženja u kome se ove aplikacije izvršavaju. Posebna grupa istraživanja se fokusira isključivo na akceleracioni senzor kao jedini dodatak GPS prijemniku.

Dobar primer oportunističkog i participatornog opažanja u saobraćaju korišćenjem kombinacije GPS prijemnika i akceleracionog senzora je detekcija udarnih rupa i drugih oštećenja na kolovozu. Ovaj problem je zbog svoje prirode praktično nemoguće rešiti statičkim senzorima. Jedan od projekata nastao iz prethodno pomenute *CarTel* platforme je *PotholePatrol* (Eriksson, Girod et al., 2008). Nadgrađujući *CarTel* platformu istraživači su iskoristili prethodno opremljenu flotu taksi vozila i fokusirali se na analizu podataka koje daju akceleracioni senzori u tim vozilima. Konkretno, za detekciju oštećenja kolovoza koriste podatke sa Z-ose (vertikalna osa) i Y-ose (poprečna osa) akcelerometra. Obzirom na karakteristike podataka koje daje akceleracioni senzor autori su implementirali detektor (analizator podataka) lokalno na ugrađenom računaru u vozilu. Slika 3.20 prikazuje arhitekturu *PotholePatrol* sistema.



Slika 3.20 *PotholePatrol* arhitektura (Eriksson, Girod et al., 2008)

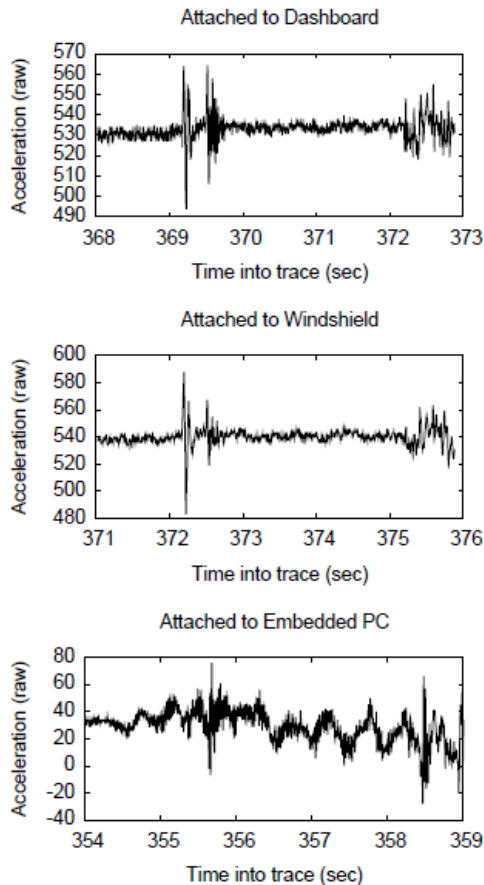
Pothole Detector komponenta izdvaja karakteristike signala sa Z i Y o s akcelerometra, kombinuje ih sa podacima o lokaciji i brzini kretanja sa GPS prijemnika i ukoliko ovaj skup podataka zadovoljava uslov detekcije udarne rupe ta informacija se šalje centralnom serveru. Obzirom da se ovakve informacije prikupljaju od većeg broja taksi vozila koja se kreću po putnoj mreži bitna komponenta centralnog servera se bavi prostorno/vremenskim klasterovanjem prijavljenih događaja. Veličina identifikovanog klastera predstavlja ocenu pouzdanosti detekcije udarne rupe na toj lokaciji.

U implementaciji ovako jednostavnog principa autori su uočili tri bitna problema:

- Veoma različite kategorije događaja kao što su zatvaranje vrata, naglo kočenje, nagle promene pravca kretanja i sl. imaju sličan uticaj na akceleracioni senzor kao i prelazak preko udarne rupe na putu.
- Postoje i druge neravnine na putu kao što su pružni prelazi i spojevi na mostovima koji su još sličniji udarnim rupama po uticaju na akceleracioni senzor
- Sama procena da li je neka neravnina na putu udarna rupa koja zahteva popravku ili je u pitanju samo manje oštećenje zahteva često pregled od strane stručnjaka tako da čak ni procena običnih vozača nije dovoljna.

Prilikom prikupljanja test podataka korišćena je flota od 7 taksi vozila koja su bila opremljena namenskim računarskim uređajem, eksternim GPS prijemnikom i akceleracionim senzorom koji je u svakom vozilu bio montiran na identičan način i orijentisan u skladu sa osama vozila. Takođe, sva vozila su bila istog tipa. Jedini promenljiv faktor tokom testiranja je bio stil vožnje zato što su se vozači nasumično menjali. Tokom nekoliko nedelja eksperimenta pokriveno je 2500km različitih segmenata putne mreže i 9800km ukupno. 180km putnih segmenata je pokriveno više od 10 puta što je doprinelo testiranju komponente za prostorno klasterovanje.

I po pitanju pozicioniranja akceleracionog senzora eksperiment je imao ograničen broj varijacija. Najrealnija lokacija akceleracionog senzora je kada je pričvršćen za vetrobransko staklo. U slučaju korišćenja *smartphone* uređaja sa ugrađenim akceleracionim senzorom ovo je najrealnija lokacija na kojoj je ekran uređaja okrenut vozaču. Takođe, snimljeni signali sa akcelerometra su bili najčistiji i sa najmanje smetnji što se može videti na slici 3.21.



Slika 3.21 Efekat iste udarne rupe na akceleracioni senzor montiran na različitim pozicijama u vozilu (Eriksson, Girod et al., 2008)

Za pouzdanu identifikaciju udarnih rupa detektor komponenta koristi pristup mašinskog učenja. Ulaz u ovu komponentu predstavlja skup unapred snimljenih i ručno identifikovanih primera podataka sa akceleracionog senzora koji se koriste za obučavanje. Tokom eksperimenta vozači su ručno identifikovali sledeće tipove događaja koji se mogu povezati sa stanjem kolovoza:

- Ravan put
- Pešački prelazi sa grubim slojem boje za upozorenje vozačima i spojevi na mostovima
- Pružni prelazi – ovaj tip događaja je najteže razlikovati od udarnih rupa
- Udarne rupe
- Šahte
- Nagla kočenja
- Nagla skretanja

Kontinualni tok podataka sa akceleracionog senzora se deli u prozore veličine 256 semplova i na te prozore se primenjuje niz filtara čiji je zadatak eliminacija događaja koji imaju značajan uticaj na ose akceleracionog senzora ali nisu udarne rupe. Pet filtara je ulančano i to su:

1. Brzina

Prozori podataka u kojima se vozilo ne kreće se eliminišu. Ovaj stepen filtra eliminiše udarce prilikom zatvaranja vrata.

2. Filter propusnik visokih frekvencija

Određen broj događaja tokom vožnje proizvodi sile znatnog intenziteta koje deluju na akcelerometar. Naglo ubrzanje i kočenje, kao i naglo skretanje izazivaju sile znatnog intenziteta ali vreme delovanja ovih sila je tipično mnogo duže nego delovanje sila prilikom nailaska na udarnu rupu. Filter propusnik visokih frekvencija eliminiše ove tipove događaja.

3. Maksimum po Z-osi

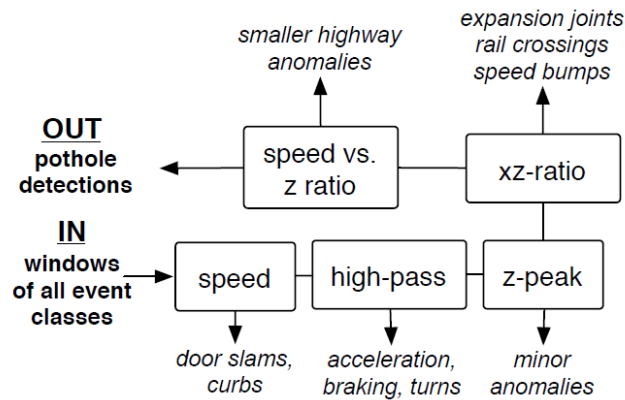
Izražen maksimum po Z-osi je osnovna karakteristika nailaska na udarnu rupu. Zadavanjam donje granice izdvajaju se samo jasno izražene udarne rupe.

4. YZ odnos

Eliminacija pružnih prelaza i anomalija na kolovozu koje se prostiru celom dužinom kolovozne trake je najveći problem za detektor. Međutim, YZ odnos filter koristi upravo male dimenzije udarnih rupa kako bi ih razlikovao od pružnih prelaza. Naime, udarne rupe najčešće imaju uticaj samo na jednu stranu vozila. To proizvodi uočljivo kratkotrajno ljuljanje vozila, odnosno i sile koje osim na Z-osu deluju i na Y-osu akceleracionog senzora. YZ odnos filter po detekciji maksimuma po Z-osi traži izražen maksimum i po Y-osi u okolini od zadatih N uzoraka. To je dobra indikacija da je u pitanju udarna rupa, a ne pružni prelaz.

5. Uticaj brzine na YZ odnos

Ovaj filter eliminiše znatan uticaj čak i malih neravnina na kolovozu prilikom njihovog prelaska velikim brzinama. Eliminišu se svi prozori sa podacima u kojima je maksimum po Z-osi manji od trenutne brzine pomnožene određenim faktorom.

Slika 3.22 Filtri detektorske komponente *PotholePatrol* sistema

Slika 3.22 prikazuje princip i redosled ulančavanja prethodno pomenutih filtara u detektorskoj komponenti koja se izvršava na ugrađenom računaru u vozilu. Tokom testiranja pouzdanosti i preciznosti sistema autori su selektivno isključivali i primenjivali pojedine filtere i tako uočavali pojedine kategorije anomalija kolovoza koje se detektuju konkretnim filtrom.

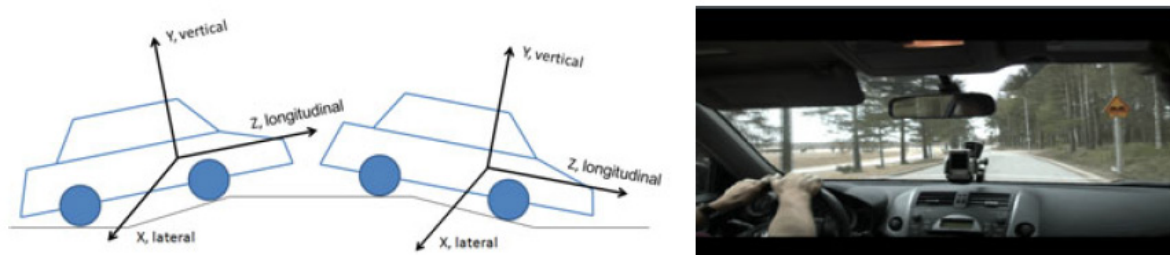
Mana pristupa analizi podataka sa akceleracionog senzora koji je predstavljen u ovom istraživanju predstavlja uska specijalizacija detektorske komponente koja je namenski prilagođena samo detekciji udarnih rupa, a ne generalnih saobraćajnih događaja.

Potencijal korišćenja kombinacije GPS prijemnika i akceleracionog senzora u saobraćajnim participatornim informacionim sistemima je uočen od strane većeg broja istraživača i dalje je aktuelan koncept. Zanimljivo je uočiti da se ova kombinacija senzora skoro isključivo koristi u svrhu detekcije vibracija koje nastaju zbog oštećenja i drugih karakteristika kolovoza. Jedan od aktuelnijih radova na tu temu je (Perttunen, Mazhelis et al., 2011). Autori ovog rada se fokusiraju isključivo na detekciju karakteristika kolovoza koristeći podatke sa akceleracionog senzora koji je integrisan na mobilnom telefonu Nokia N95. Podaci sa akceleracionog senzora se uzorkuju sa frekvencijom od 38Hz i georeferenciraju podacima sa GPS prijemnika koji se prikupljaju sa frekvencijom od 1Hz. Obzirom da se bave isključivo kvalitetom kolovoza u radu su izdvojene tri grupe karakteristika kolovoza:

- Mikro i makrotekstura – ove karakteristike se povezuju sa trenjem koje konkretna putna podloga ima sa gumama vozila
- Megatekstura predstavlja spojeve, zacrpe i udarne rupe koje povećavaju nivo buke u kabini vozila

- Neravnost kolovoza je uzrok povećanog habanja vozila i neudobnosti u vožnji

Obzirom na uticaj koje sve ove karakteristike kvaliteta kolovoza imaju na akceleracioni senzor u radu je predložen model frekventne analize podataka sa akceleracionog senzora i vizuelizacioni programski okvir za klasifikaciju i manuelnu inspekciju rezultata. U ovom konkretnom istraživanju autori se ne bave problemima reorijentacije mobilnog uređaja sa senzorom niti vrše analizu karakteristika snimljenih podataka sa akceleracionog senzora korišćenjem različitih vozila. Zato se može smatrati da je pozicija i orijentacija montiranog mobilnog telefona sa ugrađenim akceleracionim senzorom u vozilu uvek ista i prikazana na slici 3.23.

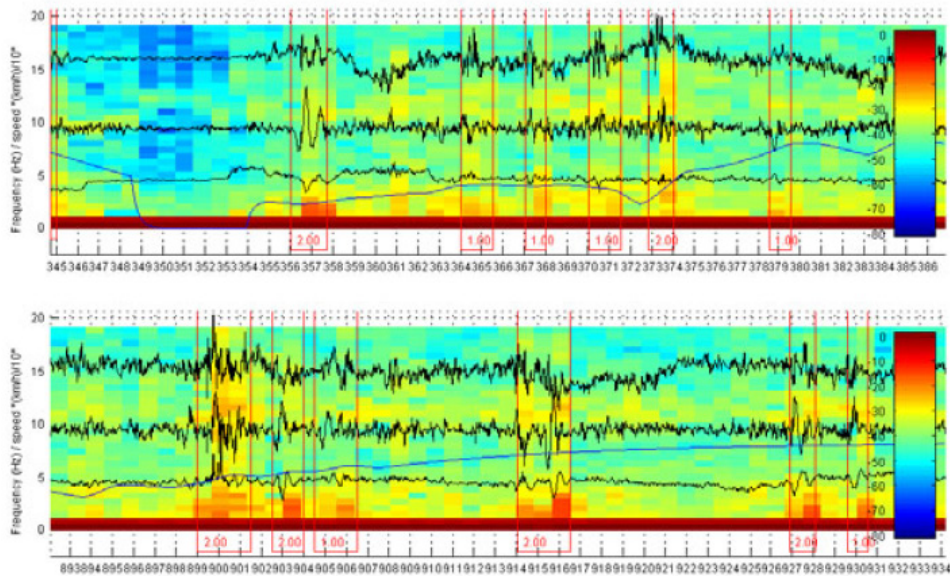


Slika 3.23 Podrazumevana pozicija i orijentacija montiranog mobilnog telefona sa ugrađenim akceleracionim senzorom

Osnova za prepoznavanje anomalija na kolovozu je spektrogram generisan na osnovu podataka sa tri ose akceleracionog senzora. Osnovne karakteristike spektrograma koje su analizirane su intenzitet signala u karakterističnim frekventnim opsezima i spektralna energija za tako definisane frekventne opsege. Na dijagramu su osim spektrograma prikazani i podaci sa akceleromentra u vremenskom domenu kao i trenutna brzina dobijena sa GPS prijemnika. Ovako formirani dijagrami su iskorišćeni za manuelno označavanje. Slika 3.24 prikazuje primer jednog ovako formiranog dijagrama koji je korišćen za manuelno označavanje.

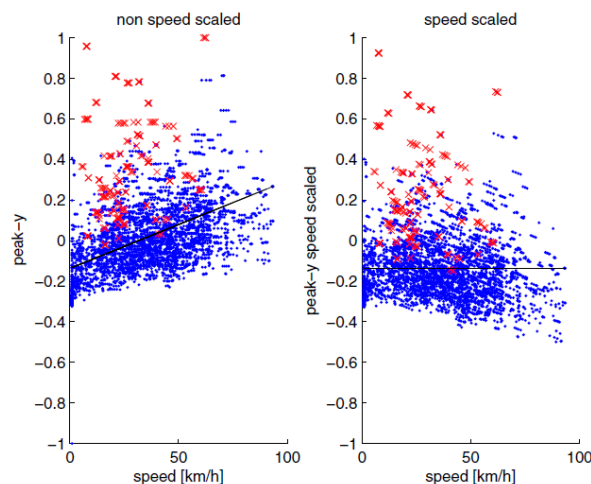
Osnova algoritma za analizu prikupljenih podataka je *sliding window* tehnika. Analizom dužine manuelno identifikovanih anomalija u eksperimentima je korišćena veličina prozora od 0.5s do 2s. Najbolje rezultate je pokazao prozor veličine 2s koji je pomeran za 0.5s. Tokom analize se izdvaja nekoliko karakteristika signala: standardna devijacija, srednja vrednost, varijansa, intenzitet i srednja kvadratna vrednost za svaku od osa. Zbog pretpostavke da prelazak preko neravnina na kolovozu proizvodi vibracije karakterističnih frekvencija primenjen je FFT algoritam i sračunata energija za 17 karakterističnih frekventnih opsega. Bitan doprinos ovog rada je da su autori pravilno

uočili da brzina kretanja vozila prilikom nailaska na neravninu na putu ima značajan uticaj na snimljene karakteristike signala sa akceleracionog senzora.



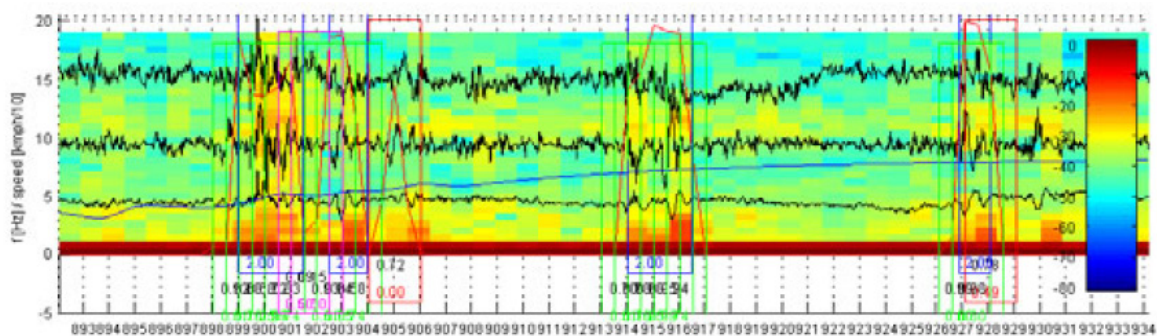
Slika 3.24 Primer formiranog dijagrama za manuelno označavanje

Uticaj brzine je ilustrovan promenama maksimuma intenziteta po Y-osi sa promenljivom brzinom kretanja vozila. Autori su primenili linearnu modifikaciju prikupljenih karakteristika signala sa akceleracionog senzora pretpostavljajući da je uticaj promenljive brzine vozila linearan. Ispravljanje prikupljenih vrednosti za maksimume po Y-osi je prikazano na slici 3.25. Plavo obojene tačke predstavljaju maksimume u odsustvu bilo kakve anomalije, a crvene predstavljaju anomalije. Levi grafik je bez korekcije, dok desni uključuje linearnu korekciju.



Slika 3.25 Linearna korekcija ekstrahovanih karakteristika signala u zavisnosti od brzine kretanja vozila

Posle ekstrakcije karakteristika signala i prethodno objašnjenih koraka filtriranja sledeći korak je klasifikacija na osnovu ekstrahovanih karakteristika. Autori su koristili *support vector machine* pristup sa prethodno manuelno identifikovanim anomalijama. Vizuelna reprezentacija rezultata sa slike 3.24 je dopunjena verovatnoćom identifikacije (crvena linija). Konačni rezultat je prikazan na slici 3.26.



Slika 3.26 Prozori sa identifikovanim anomalijama dobijeni klasifikacijom

Prozori koji su originalno manuelno označeni kao anomalije na kolovozu su označeni kao plavi pravougaonici. Prozori koji su klasifikacijom pravilno identifikovani da sadrže anomalije su predstavljeni zelenim pravougaonicima, a lažne identifikacije crvenim pravougaonicima.

Zanimljivo je uočiti da sva istraživanja na ovu temu uključuju detekciju određenih karakteristika vibracija. To je verovatno posledica metoda analize nasleđenih iz domena upotrebe ove kombinacije senzora u svrhu detekcije aktivnosti korisnika. Aktivnost korisnika je korisno detektovati u raznim medicinskim istraživanjima i u analizi sportskih aktivnosti. Otuda sve metode analize podataka sa akcelerationog senzora čak i kada se primene u domenu saobraćaja uključuju identifikaciju karakteristika signala u frekventnom domenu. Događaji koji karakterišu različite aktivnosti korisnika imaju određenu periodičnost pa su ove metode analize adekvatne. Kada se iste metode primene u saobraćajnom domenu realno je moguće identifikovati samo karakteristike kolovoza što se danas aktivno i koristi u istraživanjima kao što je i pokazano u prethodnom poglavlju. U narednim poglavljima ove disertacije će biti ispitana mogućnost korišćenja podataka sa akcelerationog senzora u svrhu detekcije generalnih saobraćajnih događaja. Ovi događaji najčešće nemaju uočljivu periodičnost pa će u nastavku biti predložene neke inovativne i adekvatnije metode analize.

4 Lokalizovana detekcija saobraćajnih događaja na mobilnim uređajima

Praktično svi današnji navigacioni sistemi i servisi kao rezultat korisničkog zahteva za rutiranjem vraćaju uređen niz segmenata puta. Tokom ove, glavne, aktivnosti ponašanje vozača je tokom vožnje uslovljeno saobraćajnim okruženjem, odnosno kontekstom u kome se vozač i vozilo kreću. Ovaj kontekst očigledno uključuje lokalna saobraćajna pravila i zakone kao što su ograničenja brzine i slično. Ovi statički podaci se obično isporučuju sa mapama putne mreže i navigacioni servisi ih koriste kako bi vozač bio upozoren ako krši neki saobraćajni propis (kao u slučaju prebrze vožnje). Vezivanjem ovih dodatnih informacija za optimalnu rutu (po nekom kriterijumu) koja je isporučena korisniku svi ovi sistemi se približavaju konceptu ruta obogaćenih kontekstom (*context enriched route*). Treba imati u vidu da je saobraćaj vrlo dinamičan sistem i kako bi dostigli ideal kontekstom obogaćene rute u navigaciji koja odslikava realno stanje u saobraćaju potrebno je za rutu vezati relevantne dinamičke saobraćajne događaje koji značajno utiču na navigaciju po toj ruti. Ove događaje je neophodno povezati sa segmentima putne mreže koji čine rutu i kao takve isporučiti samo vozačima na čije navigacione rute utiču. U prethodnim poglavljima je pokazano da projekti unapređenja današnjih navigacionih servisa od dinamičkih saobraćajnih informacija najčešće uključuju podatke o toku saobraćaja tj. prosečne brzine i tačke na kojima postoje zastoji. Ovo su očigledno informacije koje su vozačima najinteresantnije zato što direktno utiču na udobnost i vreme putovanja. Drugi aspekt vožnje na koji kontekstom obogaćena ruta utiče je bezbednost. Ukoliko se za rutu kojom se neki korisnik kreće, odnosno koju je dobio od sistema kao rezultat upita za rutiranje između dve tačke, vežu saobraćajni događaji izazvani vozačima i vozilima koji su prethodno prošli tom rutom kao što su izbegavanje prepreke, naglo kočenje i sl. i vozaču se pravovremeno prikažu upozorenja, sistem direktno utiče na svest vozača o svom okruženju. Ovakvo proaktivno delovanje na pažnju vozača može sprečiti značajan procenat situacija u kojima dolazi do saobraćajnih nezgoda. Cilj ovakvih proaktivnih saobraćajnih informacionih sistema nije zamena aktivnih sistema bezbednosti u vozilima već se ovi sistemi dopunjuju. Proaktivni sistemi koji su tema ove disertacije imaju zadatak da spreče vozača da uopšte dođe u situaciju u kojoj bi se aktivni sistemi bezbednosti aktivirali. Prikupljanje podataka o saobraćajnim događajima koji mogu predstavljati opasnost po bezbednost na putu se obavlja po principu participatornog

opažanja i eXtended Floating Car Data (XFCD). Ovi principi omogućavaju da informacija dođe do vozača mnogo brže, takoreći u realnom vremenu za razliku od konvencionalnog pristupa po kome se u dužem vremenskom period vodi statistika o broju prijavljenih saobraćajnih nesreća i segmenti puta sa velikim brojem prijava proglašavaju opasnim. Takođe, opisani principi participatornog opažanja u XFCD sistemima omogućavaju detekciju opasnih situacija koje nisu imale za posledicu nesreću, a koje ne učestvuju u konvencionalnim saobraćajnim statistikama.

4.1 Klasifikacija saobraćajnih događaja

Pre detaljnije analize principa formiranja prethodno definisane navigacione rute proširene kontekstom neophodno je klasifikovati saobraćajne događaje koji su prisutni u svakodnevnom saobraćaju, a koji utiču na udobnost i bezbednost saobraćaja. Kako bi bilo moguće predložiti najefikasnije algoritme za detekciju saobraćajnih događaja na mobilnim uređajima neophodno je ograničiti se na skup najreprezentativnijih događaja koji najbolje opisuju stanje u saobraćaju i stanje putne infrastrukture. Prilikom klasifikacije termin “događaj” treba fleksibilno shvatiti prvenstveno u smislu vremenskog trajanja. Mogu se identifikovati dve osnovne grupe:

- Tok saobraćaja (stanje u saobraćaju) i stanje kolovoza na putnoj mreži
 - Zone usporenog toka saobraćaja
 - Tačke zagušenja (kreni-stani situacije)
 - Oštećenja kolovoza (udarne rupe, oštećeni spojevi na mostovima i pružni prelazi)
- Dinamički saobraćajni događaji (incidentne situacije)
 - Nagla kočenja i ubrzavanja
 - Izbegavanje prepreke (tzv. test severnog jelena)
 - Bočno proklizavanje
 - Nagle promene kolovozne trake

Očigledno je da se događaji iz ove dve grupe razlikuju prvenstveno po svom trajanju, pa samim tim i manifestaciji na primarni senzor koji se koristi za njihovo detektovanje. Proširenje FCD koncepta koje se predlaže u ovoj disertaciji podrazumeva dodavanje samo još jednog tipa senzora, akceleracionog senzora. Pri tome je GPS prijemnik i dalje primarni senzor koji se koristi za određivanje lokacije, brzine i pravca kretanja. Uključivanje samo jednog dodatnog senzora značajno pojednostavljuje metode za analizu senzorskih podataka, a ima opravdanje u očiglednoj činjenici da se svi saobraćajni

dogadjaji iz prethodne klasifikacije manifestuju određenim silama koje deluju na vozilo, pa samim tim i mobilni uređaj u vozilu. Trenutno aktuelni istraživački i razvojni projekti predstavljeni u trećem poglavlju se skoro isključivo fokusiraju na prvu grupu saobraćajnih informacija i događaja. Iako nisu fokus inovacija u okviru ove disertacije, informacije o toku saobraćaja i saobraćajnim gužvama su i dalje vrlo aktuelne i zanimljive vozačima i uvođenje dodatnih senzora u kolaborativne sisteme sa participatornim opažanjem nikako neće zameniti konvencionalne metode procene toka saobraćaja analizom prosečnih brzina po segmentima putne mreže koja je zasnovana na analizi toka podataka prikupljenog sa GPS prijemnika. Sa druge strane, jeftini akceleracioni senzori malih dimenzija i potrošnje se masovno koriste u projektima detekcije i klasifikacije pokreta i aktivnosti korisnika u domenima sporta i medicine. Aktivnosti korisnika u ovim domenima imaju specifične karakteristike uticaja na akceleracioni senzor i uglavnom se analiziraju algoritmima u frekventnom domenu. Tipične karakteristike koje se detektuju su hod, trčanje, brojanje koraka, računanje potrošnje kalorija i sl. Ovi moduli za analizu podataka sa akceleracionog senzora su direktno primenjivani u prvim projektima koji koriste akceleracioni senzor kao dodatni senzor u saobraćaju. Iz tog razloga je očigledno zašto se većina projekata participatornog opažanja u saobraćaju koji koriste akceleracioni senzor ograničava na detekciju kvaliteta kolovoza (neravnina, udarnih rupa i sl.). Sve ove nepravilnosti u kolovozu imaju specifičan periodičan uticaj na akceleracioni senzor i najjednostavnije se identifikuju klasifikacijom karakteristika signala u frekventnom domenu. Pri tome se koriste dobro poznate metode analize signala u frekventnom domenu koje su proverene u prethodno pomenutim domenima sporta i medicine.

Druga grupa saobraćajnih događaja je mnogo interesantnija. Ovaj tip događaja je interesantan ne samo zbog svoje slabe zastupljenosti u istraživanjima već i zbog potencijala da doda jednu kvalitativno drugačiju dimenziju karakterizacije saobraćaja u kolaborativnim sistemima sa participatornim opažanjem. Naime, u pitanju su dinamički događaji, kratkog trajanja, i koji se mogu okarakterisati kao incidentni, odnosno opasni događaji u saobraćaju koji mogu prouzrokovati nesreću, ali ne znači nužno da uvek i imaju za posledicu saobraćajnu nesreću. Ovi događaji, osim što su kratkog trajanja, intenzivni su i manifestuju se delovanjem izraženih sila na vozilo i putnike u vozilu. Obzirom da je očigledno da ove sile nemaju neku periodičnu karakteristiku i mogu se detektovati metodama analize signala sa akceleracionog senzora u vremenskom domenu. Primeri saobraćajnih događaja iz ove grupe uključuju naglo kočenje i ubrzavanje, manevar

izbegavanja prepreke u jednu ili drugu stranu, bočno proklizavanje i nagle promene saobraćajne trake. Svi navedeni saobraćajni događaji su incidentni po prirodi i slanje obaveštenja drugim učesnicima u saobraćaju za koje se veruje da će proći segmentima puta na kojima su ovakvi događaji detektovani (od strane drugih učesnika u saobraćaju) direktno utiče na pažnju vozača i generalno bezbednost. Takođe, kasnija analiza učestanosti pojave ovakvih događaja koji nisu direktno prouzrokovali saobraćajnu nezgodu, ali svakako predstavljaju indikaciju opasnosti na pojedinim segmentima putne mreže, može mnogo efikasnije identifikovati opasne deonice (tzv. crne tačke) od tradicionalnih metoda statističke obrade lokacija i vremena saobraćajnih nezgoda prijavljenih saobraćajnoj policiji.

4.2 Korišćenje akcelerometra i GPS prijemnika u detekciji saobraćajnih događaja

Mnogi danas dostupni mobilni uređaji (*smartphone*) imaju integrisane akceleracione senzore pored GPS prijemnika. Ovakvi uređaji višestruke namene se sve raširenije koriste za navigaciju kada ih njihovi vlasnici unesu i fiksiraju u vozilu. Kombinacija GPS prijemnika i akceleracionog senzora je zanimljiva u scenariju koji analizira ova disertacija zato što se ovi senzori idealno dopunjuju. Akceleracioni senzor sa tri ose ima mogućnost detekcije delovanja uzdužnih ili poprečnih sila koje su manifestacija kratkih i intenzivnih manevara vozilom. Ovi manevri uključuju promene brzine i pravca kretanja vozila, međutim te promene su tako kratke da tipični GPS prijemnici sa svojom periodom uzorkovanja i preciznošću lociranja nisu u mogućnosti da otkriju ove promene. Takoreći, GPS prijemnici nemaju dovoljnu rezoluciju po vremenu kako bi detektovali ove događaje. Kao što je već rečeno danas je sve češća situacija da vozači za navigaciju koriste *smartphone* uređaje koji su tipično fiksirani za vetrobransko staklo ili instrument tablu tokom vožnje (navigacije). Tipična orijentacija tri ose akceleracionog senzora je data na slici 4.1 na primeru *smartphone* uređaja HTC Desire HD koji je i korišćen u eksperimentima u okviru ove disertacije.



Slika 4.1 Orijehtacija osa integrisanog akceleracionog senzora

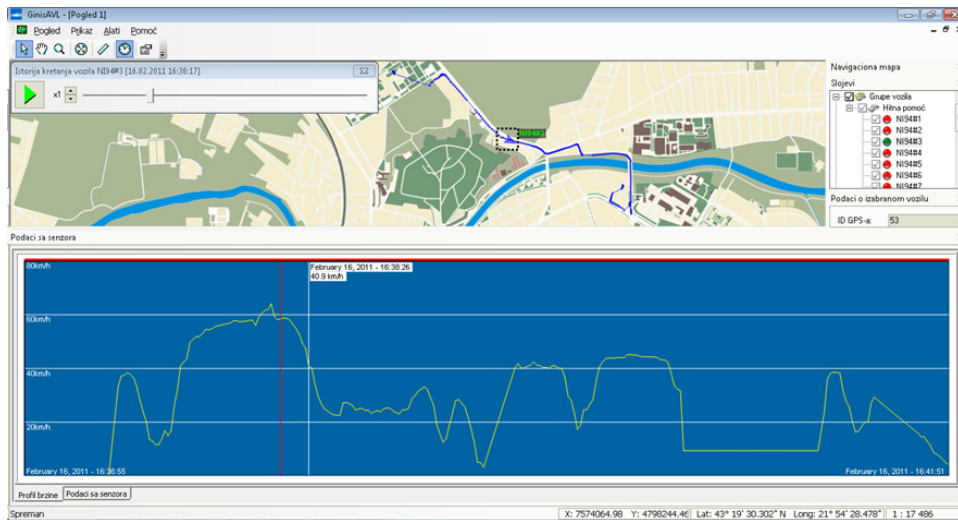
Scenarij obrađen u ovoj disertaciji podrazumeva veliki broj anonimnih vozača koji koriste uslugu navigacionog servisa na mobilnim uređajima opšte namene koje privremeno fiksiraju u svojim vozilima. Različiti dinamički saobraćajni događaji iz druge grupe imaju specifične karakteristike uticaja na svaku od tri ose akceleracionog senzora. Obzirom da se mobilni uređaj koristi za navigaciju realno je očekivati da je ekran uređaja okrenut ka vozaču i u ovoj disertaciji se pretpostavlja orijentacija osa akceleracionog senzora kao na slici 4.1. Ukoliko nije moguće pretpostaviti orijentaciju mobilnog uređaja, kao u radu (Prashanth Mohan, 2008), potrebno je izvršiti “reorijentaciju” signala sa akceleracionog senzora metodom Euler-ovih uglova ili računom kvaterniona. Ovaj postupak “reorijentacije” signala je olakšan činjenicom da su akceleracioni senzori koji se ugrađuju u današnje mobilne uređaje “statičkog” tipa, odnosno registruju silu gravitacije. Rekonstrukcijom vektora sile gravitacije je moguće odrediti orijentaciju mobilnog uređaja koji je fiksiran u vozilu, a takođe je bitno i eliminisati jednosmerne komponente u signalima sa tri ose akceleracionog senzora. Te jednosmerne komponente mogu uticati na pouzdanost detekcije saobraćajnih događaja. U Android demo aplikaciji koja je korišćena u prvoj fazi snimanja karakteristika pojedinih saobraćajnih događaja implementiran je “low-pass” filter za eliminisanje uticaja gravitacije i rekonstrukciju vektora sile gravitacije. Grafički izlaz ove demo aplikacije je prikazan na slici 4.2. Tamnom bojom su prikazane jednosmerne komponente signala sa akceleracionog senzora, odnosno uticaj gravitacije. Podaci sa X ose akcelerometra su prikazani crvenom bojom, sa Y ose zelenom, a sa Z ose plavom.



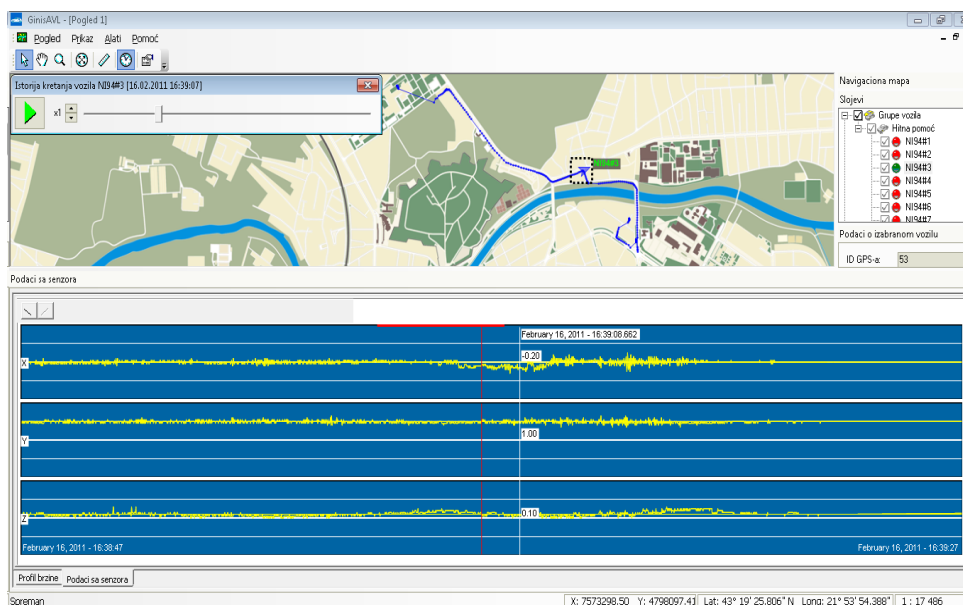
Slika 4.2 Eliminirane jednosmerne komponente uticaja sile gravitacije na signale sa akceleracionog senzora

Prilikom snimanja karakteristika relevantnih saobraćajnih događaja akceleracioni senzor na mobilnom uređaju je davao uzorak na svakih 20ms. Prilikom snimanja u vozilu je osim mobilnog uređaja postojao i laptop računar koji je predstavljao centralni server i sa kojim je mobilni uređaj komunicirao lokalnom WiFi mrežom. Na ovaj način je izbegnuto korišćenje usluge paketnog prenosa podataka nekog operatera mobilne telefonije, a serverska aplikacija instalirana na laptop računaru je primljene podatke sa akceleracionog senzora snimala u bazu podataka kao i u realnom slučaju upotrebe. Na laptopu je iskorišćen servis za praćenje vozila (Automatic Vehicle Location - AVL) koji je prethodno razvijen u Laboratoriji za računarsku grafiku i GIS. Komunikacioni protokol je modifikovan i prilagođen podacima sa akceleracionog senzora, a unutar vozila je tokom testiranja korišćena WiFi bežična tehnologija prenosa podataka iz ekonomskih razloga. Prethodno razvijan AVL binarni komunikacioni protokol je sadržao identifikator vozila, koordinate (geografsku dužinu i širinu - lon i lat), trenutno vreme, pravac i brzinu. Ovim podacima su pridodate trenutno očitane vrednosti sa sve tri ose akcelerometra i trenutno vreme je prošireno do preciznosti u milisekundama. Ovim proširenjem prosečna poruka je dužine 50 bajtova. Bez detaljnije analize očigledno je da bi naivan pristup slanja kompletnog toka podataka kako stiže sa akceleracionog senzora na udaljenu centralnu lokaciju od strane velikog broja korisnika (vozila) prenosio previše podataka po bežičnoj mreži mobilnih operatera i takav pristup je nerealan i po pitanju skalabilnosti celog sistema i po pitanju ekonomske isplativosti za vozače, korisnike usluga servisa. Samo jedan korisnik na putnoj mreži koji bi se koristio kao mobilni senzor bi na ovaj način za sat vremena preneo 7MB podataka. Zato je ovaj koncept prikupljanja podataka iskorišćen samo u ovoj, prvoj fazi istraživanja i pri tome je i servis sve vreme bio u vozilu i korišćena je WiFi mreža umesto bežične mreže mobilnih operatera. Za vizuelnu kontrolu

prikupljenih podataka sa akceleracionog senzora je proširena desktop AVL aplikacija koja je osim putanje i trenutne brzine proširena da prikazuje i trenutno snimljene podatke sa svake od tri ose akceleracionog senzora (Slika 4.3 a i b).



a)



b)

Slika 4.3 Kontrola toka prikupljanja podataka sa akceleracionog senzora u desktop AVL klijentu tokom jedne od test vožnji

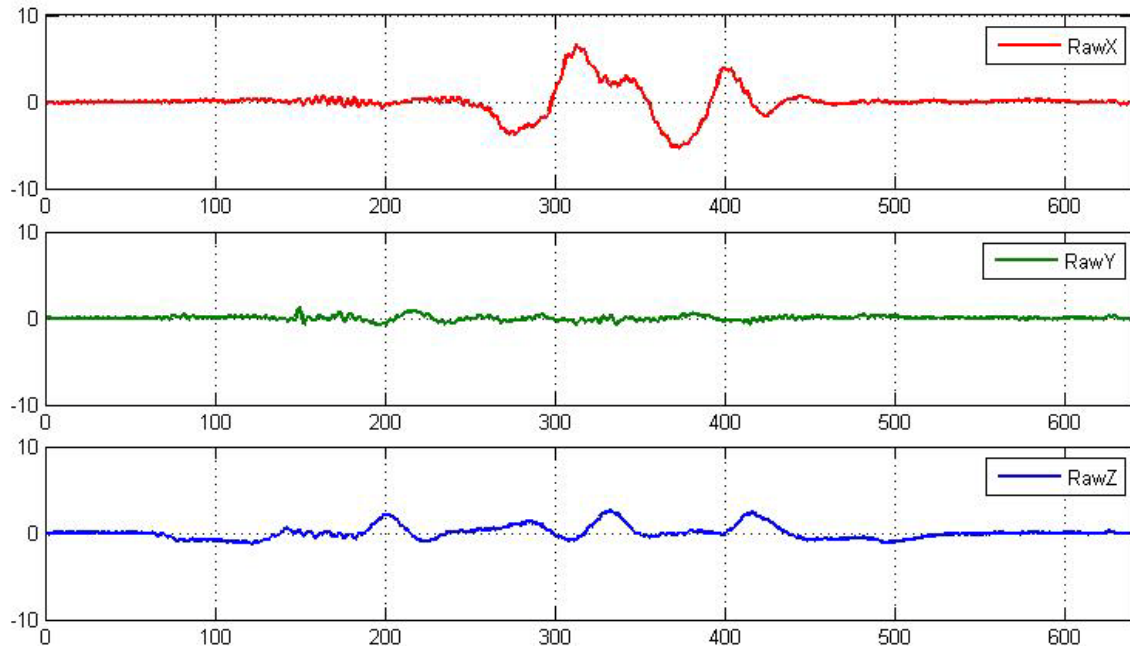
Odmah u fazi prikupljanja test podataka je postalo jasno da koncept slanja kompletnog toka podataka direktno sa senzora u kontrolni centar koji se koristi kod svih FCD sistema u slučaju proširenja akceleracionim senzorom nije moguć i da je neophodno implementirati module za lokalizovanu analizu na samom mobilnom uređaju.

4.3 Analiza podataka sa akcelerometra za relevantne saobraćajne događaje

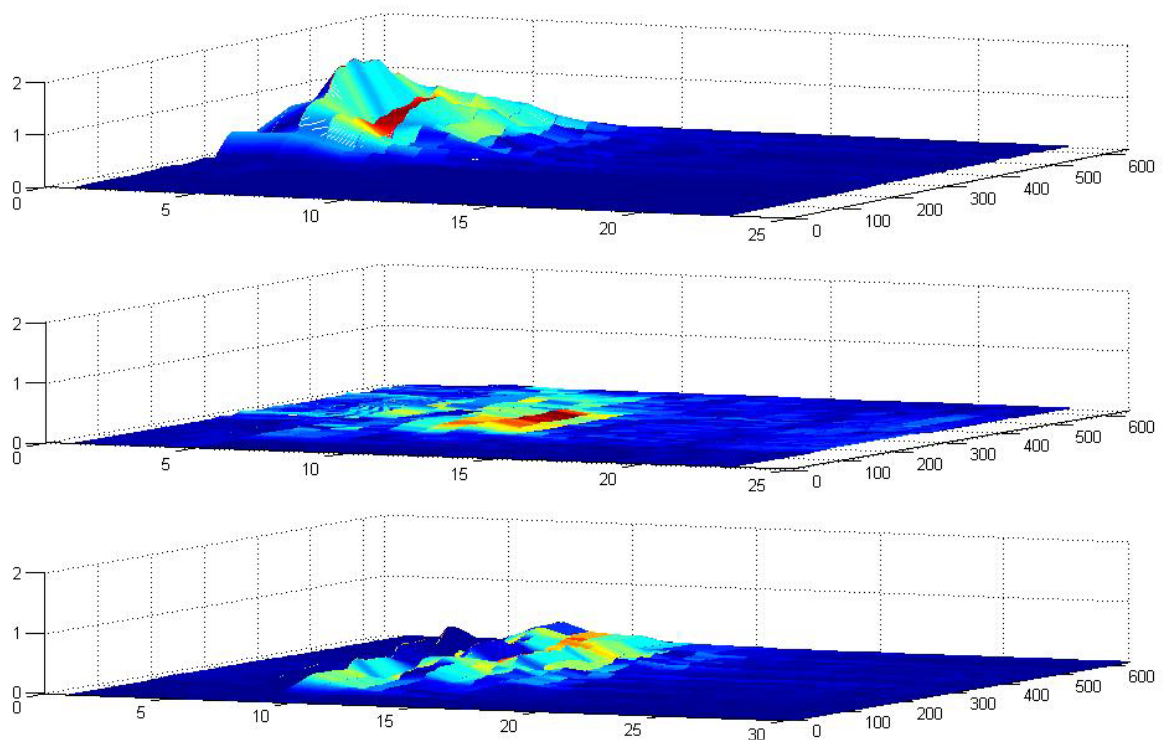
Već je napomenuto u prethodnom poglavlju da je tokom prikupljanja podataka u vožnji korišćen smartphone HTC Desire HD, kao tipičan predstavnik kategorije mobilnih uređaja koje vozači mogu koristiti u svojim vozilima kao pomoć u navigaciji. Ovaj uređaj je tokom snimanja bio montiran na držaču na vetrobranskom staklu u tipičnom putničkom vozilu C klase. Inicijalni rezultati prikupljanja podataka su objavljeni u (Predić, Stojanović et al., 2010). Snimljeni su podaci sa akceleracionog senzora za 5 reprezentativnih saobraćajnih događaja: izbegavanje prepreke u levo, naglo kočenje, bočno proklizavanje u levo, nagla promena kolovozne trake (prelazak iz desne u levu), prelazak preko poprečnih neravnina (pružnog prelaza). Svi manevri su izvedeni pri brzini od 40km/h. Snimljene karakteristike podataka sa akceleracionog senzora u vremenskom i frekventnom domenu za svih 5 izabranih saobraćajnih događaja su prikazane na slikama 4.4 do 4.8. X osa karakteristike u vremenskom domenu predstavlja broj odmeraka pri čemu svakih 50 odmeraka predstavlja jednu sekundu. Y osa na istom tipu grafika predstavlja ubrzanje u m/s^2 . Na grafiku koji predstavlja karakteristiku u frekventnom domenu su prikazane sve karakteristične frekvencije koje postoje u snimljenim podacima pri čemu treći red (frekventna komponenta) predstavlja 1Hz. U analizi je generisano ukupno 26 frekventnih komponenti do gornje granične frekvencije od 10Hz. Z osa predstavlja vreme, odnosno broj uzoraka. Postupak prikupljanja i tok analize podataka sa akceleracionog senzora tokom izvođenja karakterističnih saobraćajnih manevara je objavljen u radu (Predić i Stojanović, 2012).

Saobraćajni događaj koji najočiglednije ukazuje na incidentnu situaciju u saobraćaju je izbegavanje prepreke. U zemljama u kojima se vozi na desnoj strani posebno je bitan manevar izbegavanja prepreke u levu stranu. Snimljene karakteristike ovog manevra su prikazane na slici 4.4. Na grafiku se vidi da sam manevar startuje otprilike na poziciji 250 (250-ti uzorak) i traje nešto manje od 3 sekunde (oko 150 uzoraka). Ovaj manevar ima izrazit uticaj na X osu akceleracionog senzora. Mali uočljivi vrhovi po Z osi na pozicijama 200, 320 i 410 predstavljaju trenutno usporenje kada prednji točkovi naglo promene pravac. Zanimljivo je uočiti da se ovaj manevar može posmatrati i kao dva spojena manevra nagle promene saobraćajne trake u suprotnim smerovima. Još jedna zanimljivost na frekventnoj karakteristici je izazvana ovim povezanim simetričnim manevrima. Snimljeni podaci sa akceleracionog senzora imaju i periodičnost koja se može

uočiti na frekventnoj karakteristici na frekventnoj komponenti 2 (0.5Hz). Ova izražena periodičnost upravo počinje od uzorka 300.



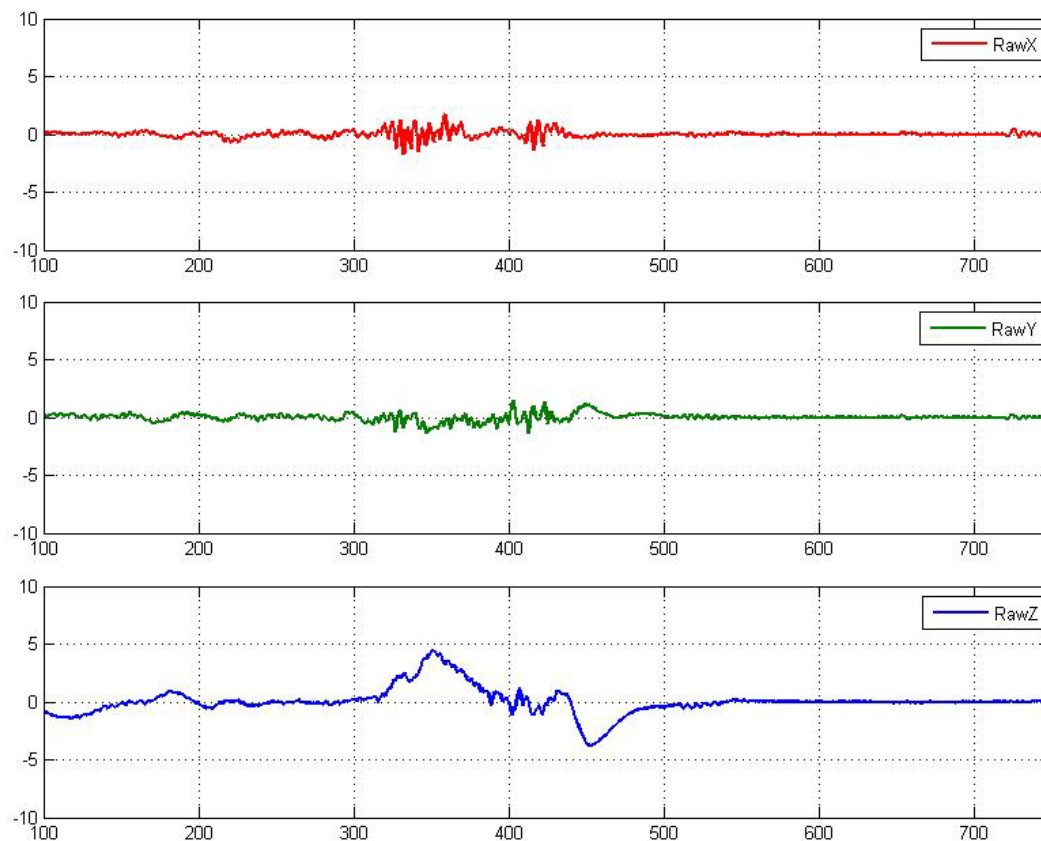
a) Vremenski domen



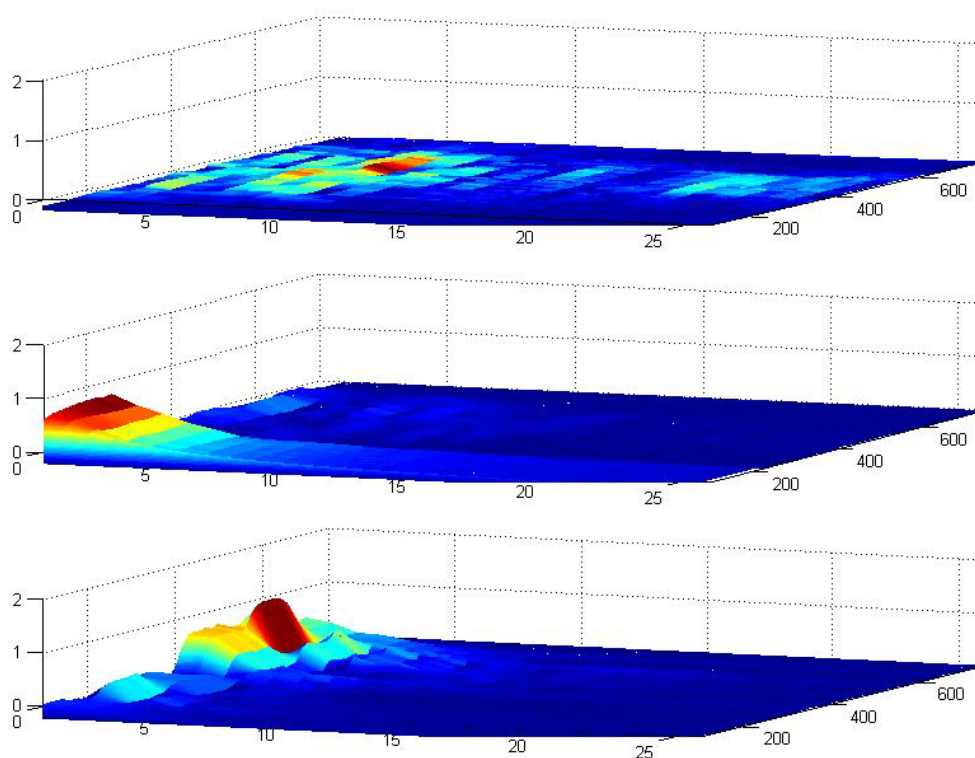
b) Frekventni domen

Slika 4.4 Izbegavanje prepreke u levo

Još jedan događaj koji može predstavljati indikaciju potencijalno incidentne situacije je naglo kočenje. Snimljena karakteristika ovog događaja je prikazana na slici 4.5. Kao što je i očekivano ovaj događaj se manifestuje izraženim uticajem samo na Z osu akcelerometra. Ostale dve ose detektuju samo sekundarne vibracije koje nastaju tokom takvog naglog kočenja. Ovde je bitno napomenuti da je događaj snimljen koristeći vozilo koje poseduje ABS system aktivne bezbednosti i da je kočenje nastavljeno do potpunog zaustavljanja vozila. Manevar počine od uzorka 310 i traje malo kraće od dve sekunde. ABS sistem se uključuje na uzorku 350 kada uzdužna sila kočenja dostigne vrednost 0.5G (polovinu vrednosti sile gravitacije). Aktiviranje ABS sistema koji naizmenično smanjuje i povećava silu kočenja se manifestuje karakterističnim “stepenastim” silaznim oblikom signala između uzoraka 350 i 400. Obzirom da se vozilo u potpunosti zaustavilo uočljiv je vrh u suprotnom smeru na poziciji uzorka 450.



a) Vremenski domen



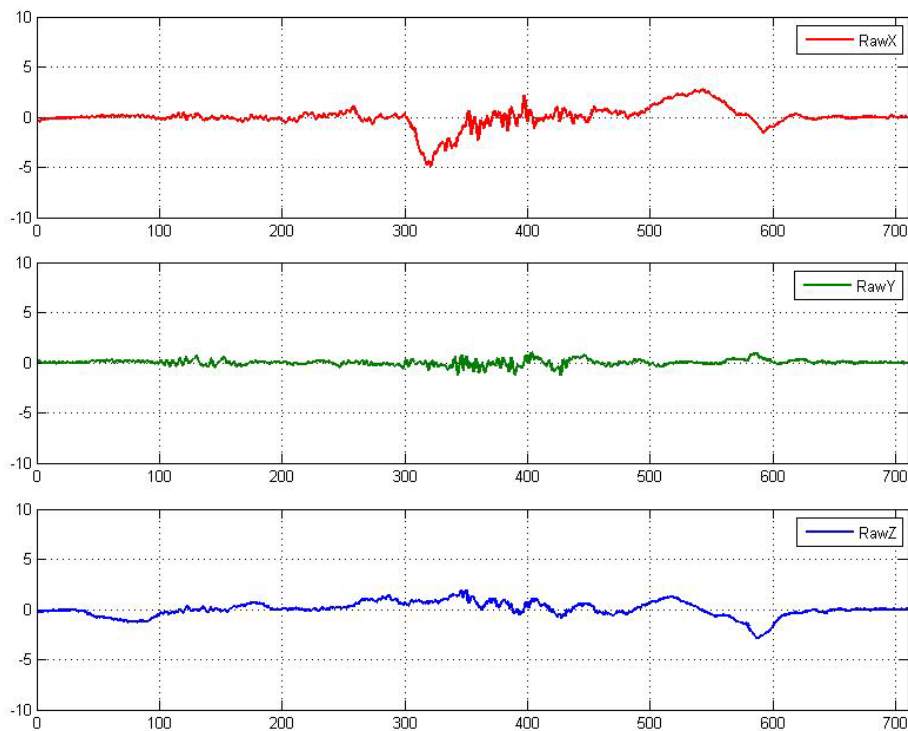
b) Frekventni domen

Slika 4.5 Naglo kočenje

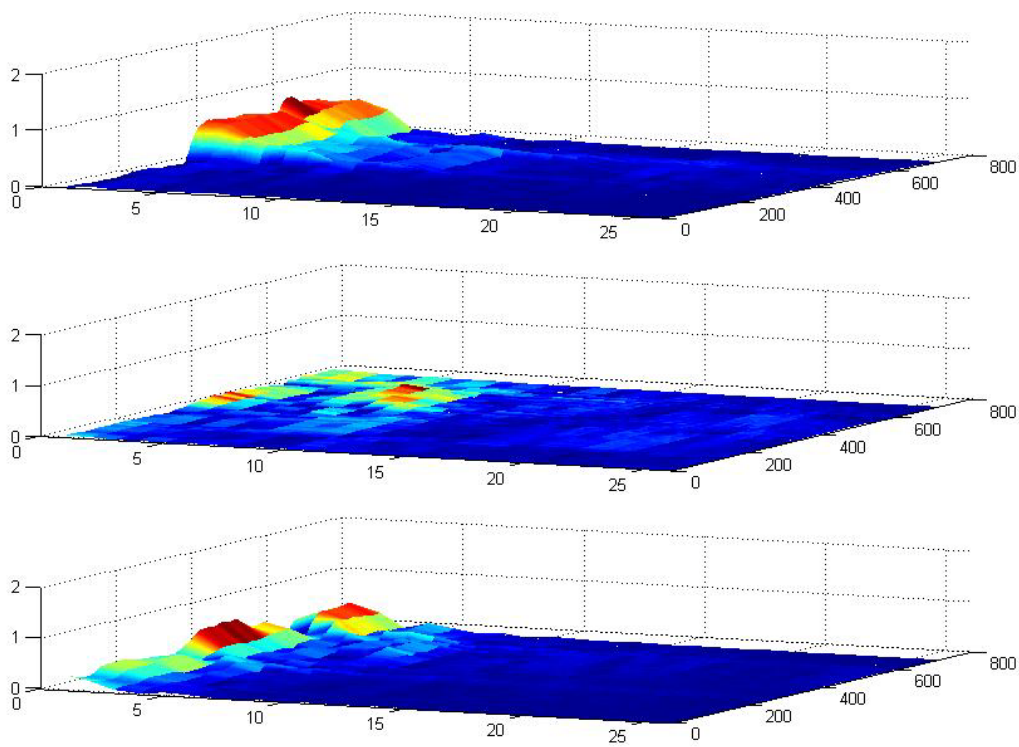
Bočno proklizavanje sa podupravljanjem predstavlja jedan saobraćajni događaj koji je pouzdana indikacija da je vozač izgubio kontrolu nad vozilom tokom incidentne situacije. Karakteristika ovog događaja je prikazana na slici 4.6. Tokom ovog manevra prednji točkovi vozila u potpunosti izgube trenje sa podlogom. Na slici ovaj saobraćajni događaj počinje od uzorka 300 i traje oko 3 sekunde do potpunog zaustavljanja vozila.

U pitanju je vrlo intenzivan manevar i vidi se da već na uzorku 310 kada bočna sila dostigne vrednost 0.5G prednji točkovi proklizavaju. Ovde je bitno uočiti da je 0.5G tipična vrednost intenziteta sile (uzdužne prilikom kočenja ili poprečne prilikom manevara) kada točkovi gube trenje sa podlogom. Ova izmerena vrednost zavisi od oslanjanja vozila i tipa guma ali je u skladu sa kataloškim vrednostima za tipična putnička vozila koja se sreću na putevima. Tokom proklizavanja prednji točkovi u manjoj ili većoj meri ponovo imaju trenje sa podlogom pa su zato vidljive vibracije karakteristične i za aktiviranje ABS sistema. Ove vibracije su vidljive na sve tri ose akceleracionog senzora. Na uzorku 500 vozilo je dovoljno usporilo da prednji točkovi ponovo imaju dovoljno trenja i vozilo se polako zaustavlja. Izražen vrh duž negativne Z ose je kao i kod naglog kočenja nastao zbog potpunog zaustavljanja vozila. U ovom slučaju, obzirom da se vozilo

zaustavlja bočno (nakom bočnog klizanja), ovaj vrh u snimljenim podacima duž negativne ose je vidljiv i na X osi.



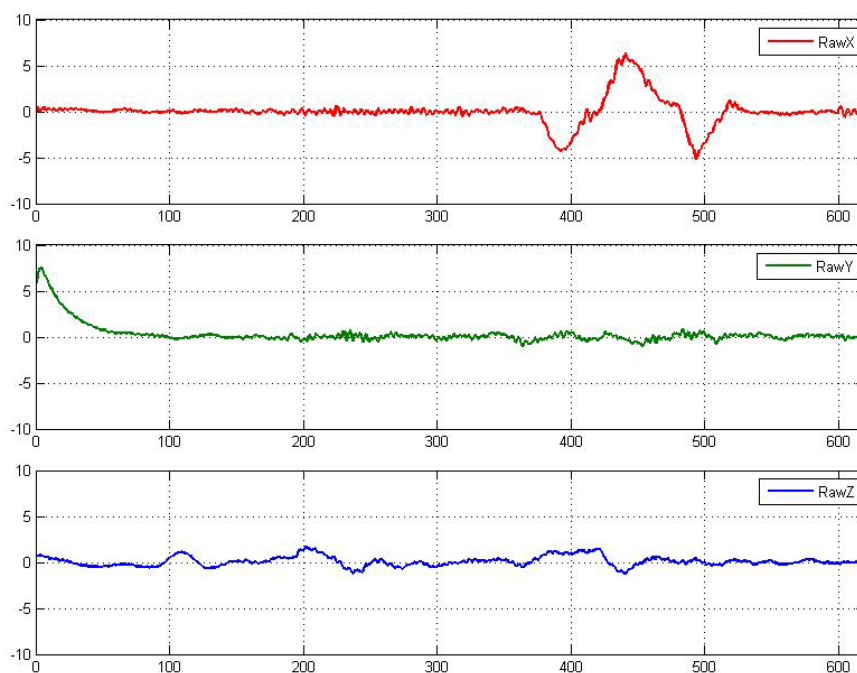
a) Vremenski domen



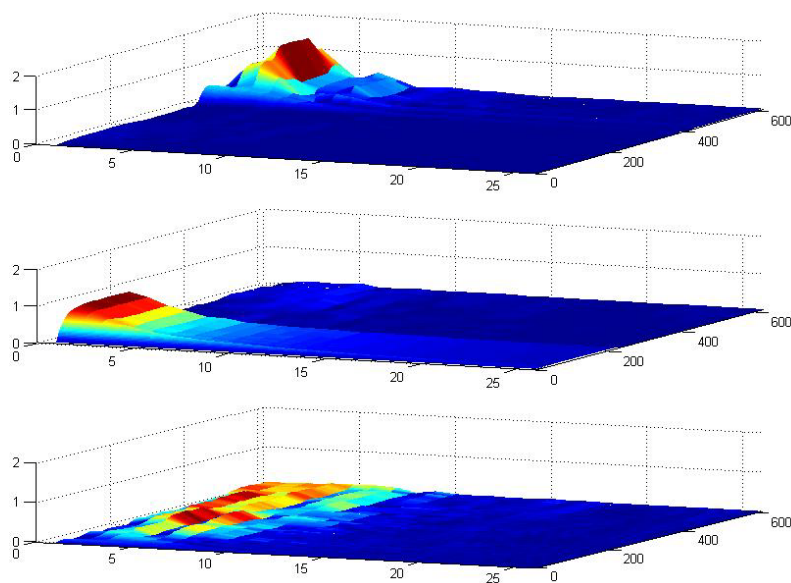
b) Frekventni domen

Slika 4.6 Bočno proklizavanje u levu stranu (sa podupravljanjem)

Nagla promena saobraćajne trake ne mora nužno da predstavlja indicaciju incidentne situacije već može predstavljati karakteristiku lošeg stila vožnje vozača, ili potrebu brzog prestrojavanja u gradskim gužvama. Karakteristike ovog saobraćajnog događaja su prikazane na slici 4.7. Ovaj događaj startuje otprilike na poziciji uzorka 380. Kao što je već napomenuto ovaj manevar se može posmatrati kao polovina manevra izbegavanja prepreke.



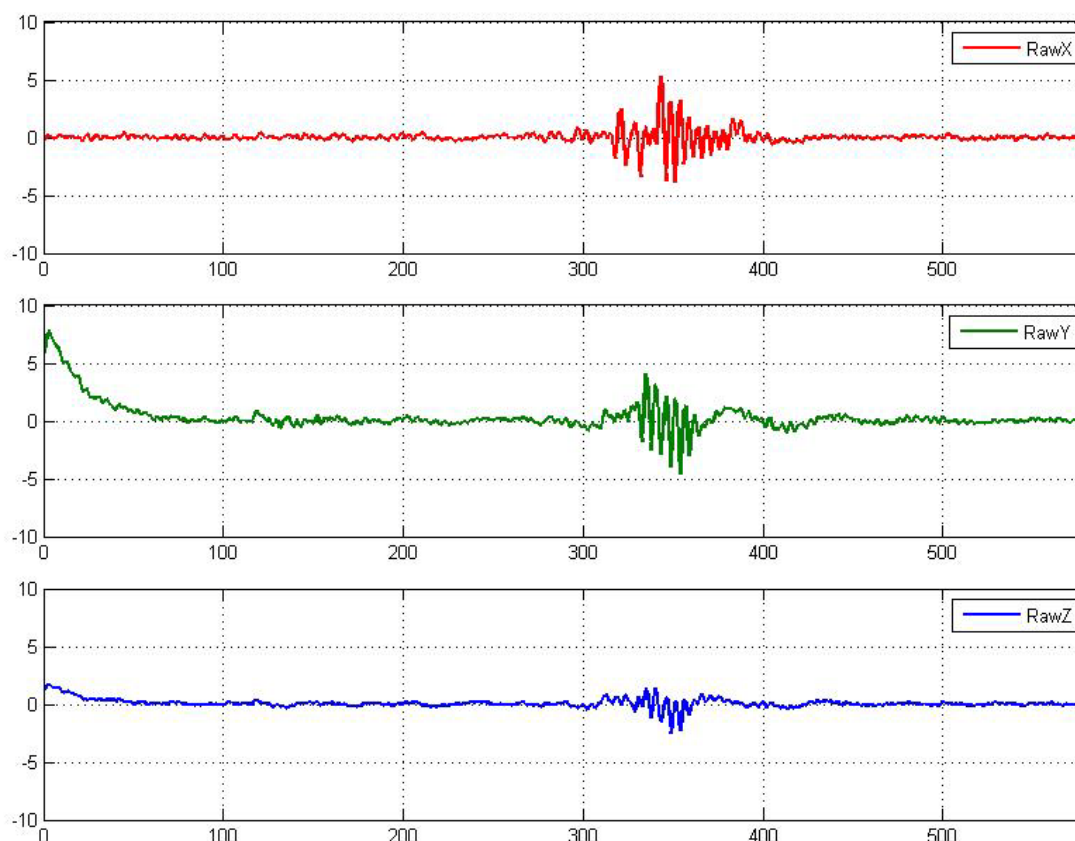
a) Vremenski domen



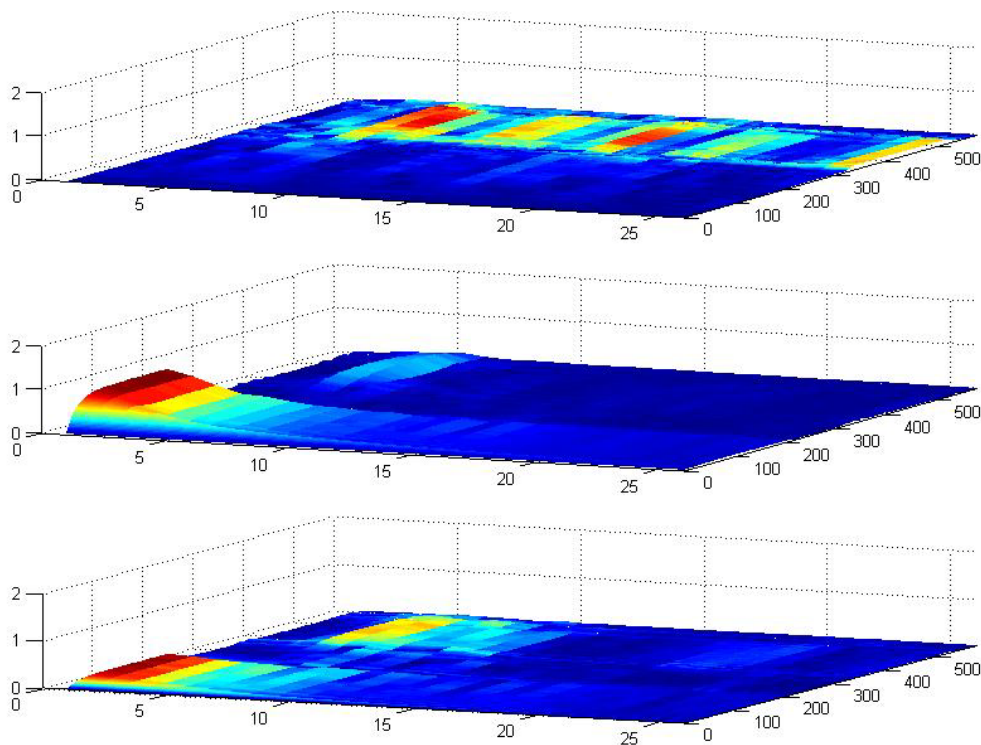
b) Frekventni domen

Slika 4.7 Nagla promena trake (iz desne u levu)

Konačno, i neravnine na kolovozu su predstavljene u ovim snimljenim test podacima u vidu pružnog prelaza i karakteristike ovog događaja su prikazane na slici 4.8. Ovo je praktično jedini događaj koji proizvodi samo vibracije i to sa karakterističnim komponentama na višim frekvencijama. Vozilo je naišlo na šine u uzorku 300 i vibracije traju otprilike jednu sekundu. Obzirom da je vozilo naišlo na šine pod određenim uglom, vibracije su uočljive i na X in a Y osi akcelerometra. Ovaj efekat identifikacije događaja na osnovu uticaja na jednu ili korelisanog uticaja na dve ose akcelerometra je već zapažen i korišćen u drugim istraživanjima u ovom domenu (Eriksson, Girod et al., 2008). U slučaju normalnog nailaska na šine ili bilo kakvu prepreku koja se prostire celom širinom puta vibracije bi bile izražene samo po jednoj osi. Takođe, obzirom da prelazak preko šina ne izaziva značajnu promenu brzine vozila na Z osi se ne uočavaju značajne sile. Konačno, jedino ovaj tip događaja od svih posmatranih na frekventnoj karakteristici ima izražene komponente na višim frekvencijama. Po svim osama u frekventnom domenu vidljive su komponente 7,8,9, a na osi X postoje praktično sve frekvencije do komponente 26.



a) Vremenski domen



b) Frekventni domen

Slika 4.8 Prelazak preko šina

4.4 Ekstrakcija karakteristika i klasifikacija podataka sa akcelerometra

Iz prethodnih poglavlja se može zaključiti da se istraživači koji se bave prepoznavanjem aktivnosti na osnovu podataka sa akceleracionog senzora uglavnom fokusiraju na fizičku aktivnost korisnika. Razlog za to treba tražiti u primenjenim algoritmima za ekstrakciju karakteristika podataka i klasifikaciju aktivnosti. U većini istraživanja poput (Gjoreski, Gams et al., 2010), (Mannini i Sabatini, 2010) se koristi alat za testiranje algoritama za mašinsko učenje Waikato Environment for Knowledge Analysis - WEKA (Hall, Frank et al., 2009) sa danas već standardnim klasifikatorima kao što su *Support Vector Machine* (SVM) i KNN (*K-Nearest Neighbor*). Ovaj metod analize podrazumeva postprocesiranje podataka koji su već unapred prikupljeni i zahteva računarski hardver za izvršenje WEKA alata koji je tipično znatno ozbiljniji nego što je dostupan na današnjim *smartphone* uređajima. To je i osnovna mana ovakvog pristupa i podrazumeva klasičan streaming podataka sa akceleracionog senzora do centralnog računara koji te podatke obrađuje korišćenjem WEKA alata. Već je napomenuto da se ovakav model komunikacije između udaljenih senzora i centralne lokacije koristi kod FCD sistema i da postoje ozbiljni nedostaci kada se primeni na XFCD sisteme. Ono što je

zajedničko za većinu test podataka korišćenih u ovim istraživanjima je visok stepen periodičnosti i veliki broj uzastopnih ponavljanja aktivnosti tokom prepoznavanja. Upravo iz tog razloga među karakteristikama koje se ekstrahuju iz snimljenih podataka sa akceleracionog senzora, a koje se koriste za klasifikaciju aktivnosti, dobar broj se dobija u frekventnom domenu. Takođe, zbog velikog broja ponavljanja aktivnosti u ulaznom toku podataka ovaj tok je moguće obrađivati korišćenjem tehnike prozora. Podaci popunjavaju bafer određene veličine i kada se bafer popuni nad njegovim sadržajem se izvršava analiza. Zatim se sadržaj bafera potpuno ili delimično briše i dopunjava novim podacima. Ovaj proces se ciklično ponavlja. U slučaju potpunog brisanja bafera praktično imamo slučaj da se prozor skokovito pomera po toku podataka tačno za veličinu bafera, dok kod parcijalne zamene podataka u baferu takođe imamo skokovito pomeranje za neki broj odmeraka. Ova optimizacija principa analize toka podataka je moguća upravo zbog periodičnosti podataka i velikog broja ponavljanja aktivnosti. Moguće je praviti velike skokove prozora za analizu dok god smo sigurni da u svakom trenutku u prozoru postoji dovoljan broj ponavljanja aktivnosti koja se prepoznaje.

Podaci prikupljeni i opisani u prethodnom poglavlju su podvrgnuti ovim metodama analize primenom prethodno pomenutog principa skokovitog pomeranja prozora. Karakteristike signala sa akcelerometra izračunavane su nad protočnim baferom veličine 512 uzoraka sa preklapanjem od 256 uzoraka između izračunavanja. Preklapanje uzoraka od 50% se pokazalo kao uspešno u prethodno pomenutim radovima. Kako su podaci sa akcelerometra prikupljeni sa frekvencijom od 100Hz svako stanje bafera u trenutku izračunavanja predstavlja podatke prikupljene tokom 5.12 sekundi. Bafer koji predstavlja period od nekoliko sekundi može uspešno da obuhvati cikluse u aktivnostima koje pokušavamo da detektujemo u okviru ovog rada. Takođe korišćenje bafera veličine 512 omogućava brže izračunavanje brze Furijeove transformacije što je potrebno za izračunavanje nekih od karakteristika.

Korišćenjem podataka sa tri ose akcelerometra izračunavane su sledeće karakteristike:

- Srednja vrednost
- Standardna devijacija
- Korelacija između osa
- Srednja vrednost intenziteta vektora akceleracije

- Energija
- Entropija

Sve karakteristike su izračunavane za svaku od osa zasebno osim srednje vrednosti intenziteta vektora akceleracije koja je izračunavana korišćenjem podataka sa sve 3 ose. Srednja vrednost, standardna devijacija, korelacija i srednja vrednost vektora akceleracije su izračunavane direktno nad podacima u vremenskom domenu, dok su energija i entropija izračunavane nad podacima u frekventnom domenu. Podaci u frekventnom domenu dobijeni su izračunavanjem brze Furijeove transformacije nad podacima u baferu. Za izračunavanje brze Furijeove transformacije korišćena je Java biblioteka JTransforms (Wendykier, 2011).

Srednja vrednost predstavlja srednju vrednost akceleracije po datoj osi, tj. DC komponentu signala sa te ose. Standardna devijacija ukazuje na opseg različitih vrednosti akceleracije koje se javljaju za vreme izvršavanja različitih aktivnosti. Korelacija se izračunava za svaki par osa i može da bude korisna za razlikovanje aktivnosti koje uključuju translaciju u samo jednoj dimenziji, recimo hodanje od penjanja uz stepenice. Intenzitet vektora akceleracije se izračunava kao vektorska suma vektora akceleracije za svaku od osa. Intenzitet se izračunava za svaki od 512 uzoraka iz bafera i zatim se računa srednja vrednost. Energija se izračunava kao suma kvadrata amplituda diskretnih komponenti dobijenih brzom Furijeovom komponentom. Ako su x_1, x_2, \dots amplitude komponenti onda je izraz za računanje energije:

$$Energy = \frac{\sum_{i=1}^{|\omega|} |x_i|^2}{|\omega|}$$

Entropija se računa kao informaciona entropija tako što se opseg svih vrednosti amplituda komponenti podeli u određeni broj delova i zatim prebroji koliko komponenti ima amplitude u svakom od delova. Ako x_1, x_2, \dots predstavlja broj komponenata sa amplitudom u odgovarajućem delu opsega, izraz za računanje entropije je:

$$Entropy = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i)$$

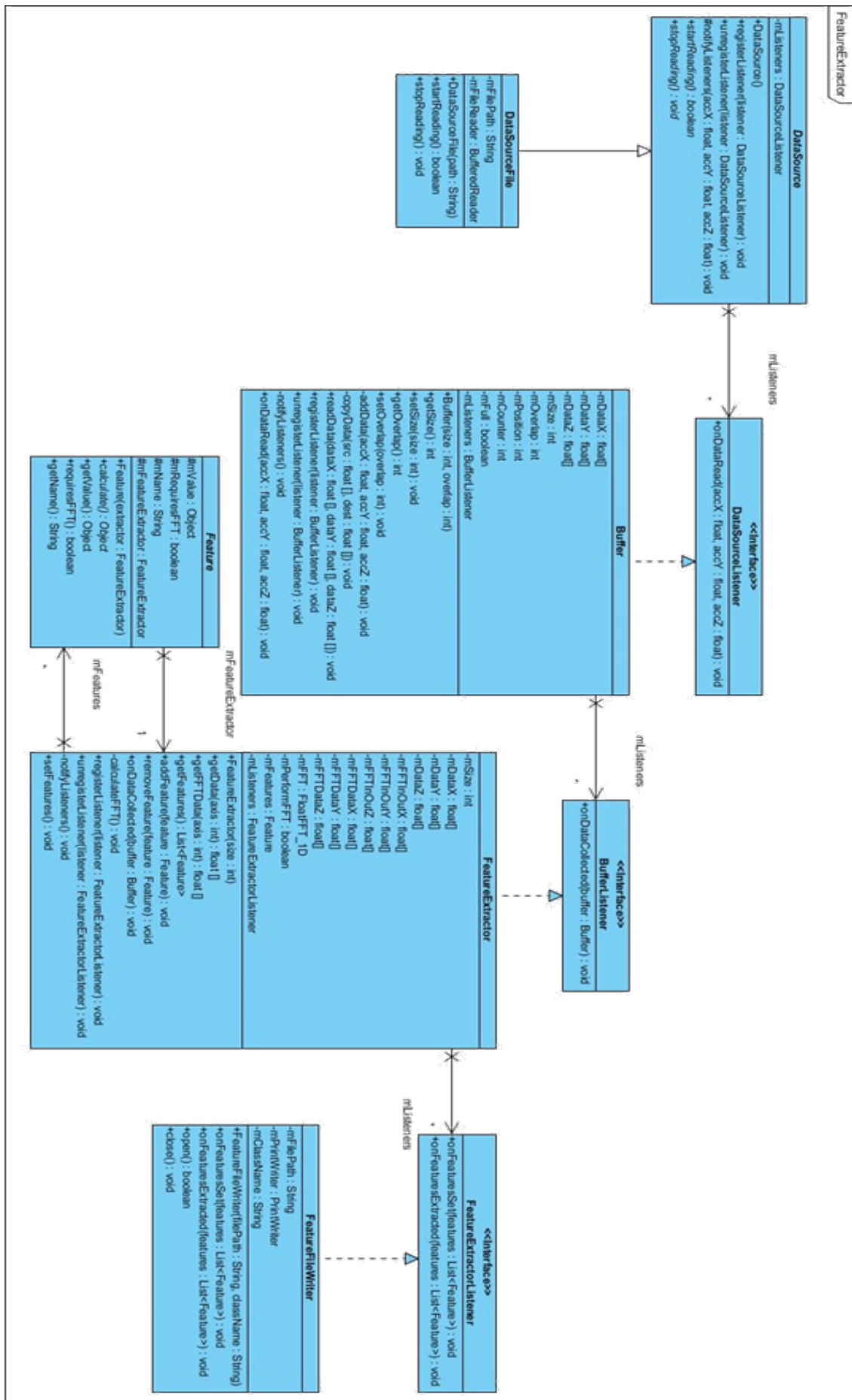
Prilikom izračunavanja energije i entropije DC komponenta signala nije uzimana u obzir. Za prethodna dva izraza praktično važi $|\omega|=n$ i ova vrednost predstavlja broj komponenti dobijenih brzom Furijeovom transformacijom.

Implementaciono posmatrano, krajnji cilj u ovoj disertaciji je realizacija algoritama za lokalizovanu analizu podataka sa akceleracionog senzora i detekciju prethodno identifikovanih relevantnih saobraćajnih događaja na samim mobilnim klijentskim uređajima. Kao platforma za testiranje je korišćen Android *smartphone* mobilni uređaj. U ovom poglavlju su identifikovane ključne karakteristike signala sa akceleracionog senzora koje se koriste u srodnim istraživanjima u domenu detekcije tipa fizičke aktivnosti korisnika. Implementirana je Java biblioteka *FeatureExtractor*. Izabrano je Java okruženje za razvoj iz očiglednog razloga kompatibilnosti razvijene biblioteke i njene primene na Android platformi. U ovoj fazi razvoja podaci su prikupljeni Android aplikacijom prikazanom na slici 4.2 čiji je zadatak povezivanje na akceleracioni senzor ugrađen u Android *smartphone* uređaju, preuzimanje podataka sa senzora i njihovo snimanje u tekstualnu CSV (Comma Separated Value) datoteku. Iz razloga jednostavnosti debugiranja u ovoj fazi su ove datoteke prebacivane na desktop računar na kome je nad tim podacima primenjivana *FeatureExtractor* biblioteka. Dijagram klasa za ovu biblioteku je prikazan na slici 4.9. Ovaj dijagram sadrži klase koje predstavljaju osnovu sistema za prikupljanje podataka sa akceleracionog senzora, analizu ovih podataka različitim brojem i tipovima modula i generisanje izlaza sa različitim karakteristikama. Osnovna karakteristika ove biblioteke je fleksibilnost i njena jednostavna primena kako u fazi ispitivanja na desktop računaru tako i u fazi testiranja na mobilnoj Android platformi. Ulaz podataka je implementiran preko apstraktne klase *DataSource*.

U fazi ispitivanja je implementirana podklasa *DataSourceFile* koja nasleđuje ovu apstraktnu klasu i implementira ulaz podataka iz unapred pripremljenih CSV datoteka. Dve su osnovne metode u roditeljskoj apstraktnoj klasi koje upravljaju startovanjem i zaustavljanjem procesa preuzimanja podataka iz izvora, njihove analize i generisanja identifikovanih karakteristika podataka:

```
public abstract boolean startReading();  
public abstract void stopReading();
```

Podaci iz izvora se prikupljaju u protočnom baferu koji je implementiran u klasi *Buffer*. Radi maksimalne fleksibilnosti sam princip prebacivanja podataka iz izvora u bafer obzirom na veliku frekvenciju pristizanja podataka je implementiran po Observer projektnom obrascu. Ovaj obrazac je često korišćen u mnogim Java bibliotekama i u Java svetu je poznatiji kao *Listener*. Zato je definisan interfejs *DataSourceListener*.



Slika 4.9 Dijagram klasa *FeatureExtractor* biblioteke

Klasa *Buffer* implementira ovaj interfejs i trenutno je jedini *Listener* klase *DataSource*. Sve trenutno korišćene metode analize podataka sa akceleracionog senzora i ekstrakcije karakteristika ovih podataka koriste princip protočnog bafera i skokovitog pomeranja prozora. U slučaju implementacije nekog budućeg algoritma ekstrakcije koji koristi neki drugi pristup preuzimanja podataka u klasi *DataSource* je moguće registrovati proizvoljan broj *Listener-a*, odnosno klasa koji implementiraju različite metode skladištenja podataka sa akceleracionog senzora.

Po istom *Listener* obrascu sa baferom se povezuje klasa *FeatureExtractor* korišćenjem *BufferListener* interfejsa. Smeštanje novopristiglih podataka sa senzora u bafer obavlja metoda klase *Buffer*:

```
private synchronized void addData(float accX, float accY, float accZ);
```

Obzirom da je izabran bafer veličine 512 odmeraka sa skokovitim pomerajem prozora od 50% bafera, odnosno 256 odmeraka u ovoj metodi se po zameni 50% podataka u baferu obaveštava *FeatureExtractor* metodom *NotifyListeners()* i *Listener* mehanizmom. Klasa *FeatureExtractor* kontroliše računanje svih potrebnih karakteristika podataka koji su prikupljeni u baferu. Ova klasa sadrži lokalnu kopiju podataka iz protočnog bafera. Takođe, ova klasa sadrži listu klasa *Feature*. Računanje svake pojedinačne karakteristike je izdvojeno u posebnu podklasu klase *Feature*. Računanje svih registrovanih karakteristikama u posebnim klasama se obavlja u metodi *onDataCollected()* klase *FeatureExtractor*:

```
@Override
public void onDataCollected(Buffer buffer) {
    buffer.readData(mDataX, mDataY, mDataZ);

    if(mPerformFFT) {
        calculateFFT();
    }

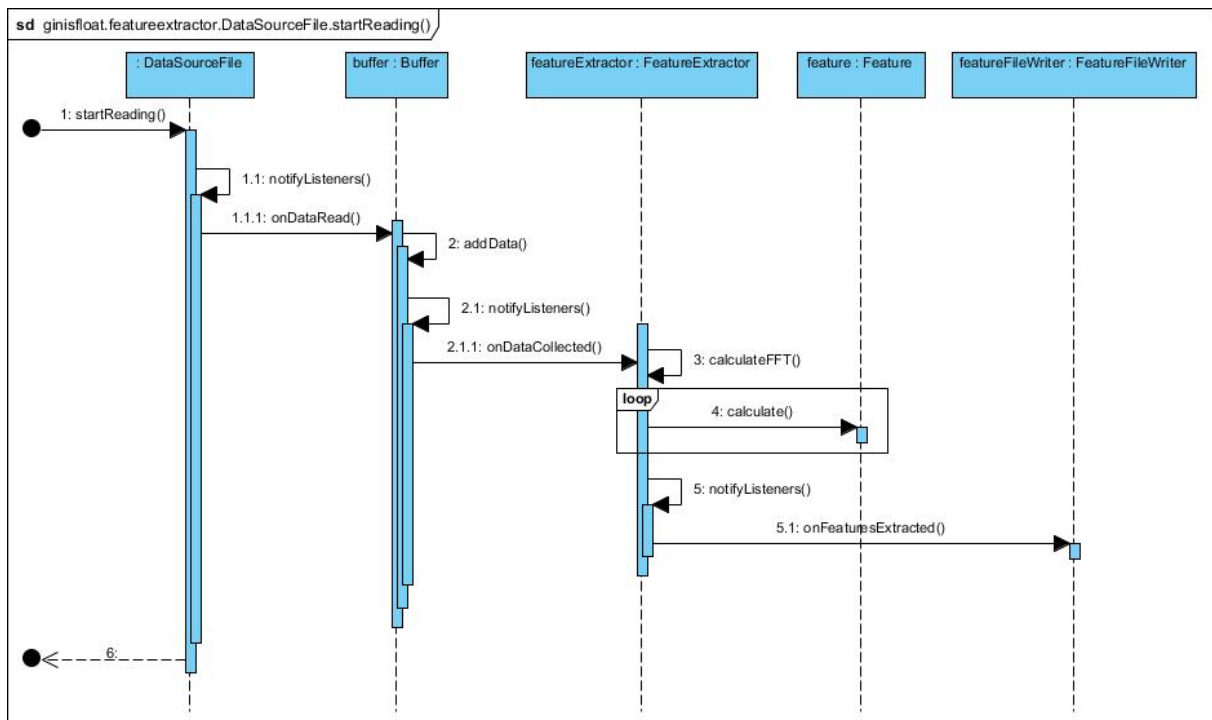
    for(Feature feature : mFeatures) {
        feature.calculate();
    }

    notifyListeners();
}
```

Ukoliko se neka od karakteristika računa u frekventnom domenu u ovoj metodi se računaju koeficijenti implementiranim *sliding window* FFT algoritmom. Prilikom registracije modula za generisanje karakteristika *addFeature(Feature feature)* dinamički se registruje i da li je potrebno izvršenje FFT algoritma. Na ovaj način se ova relativno skupa (vremenski zahtevna) operacija izvršava samo ukoliko je neophodna, odnosno zahteva je neka od karakteristika.

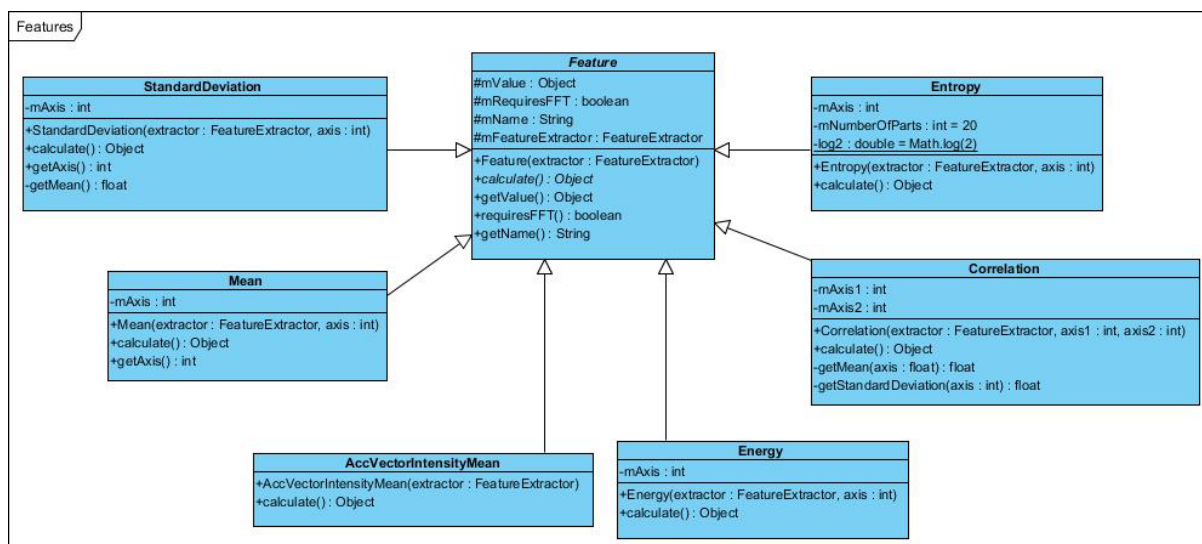
Konačno, sračunate karakteristike podataka iz bafera se prosleđuju na dalju analizu korišćenjem interfejsa *FeatureExtractorListener*. Obzirom da je u fazi ispitivanja za klasifikaciju korišćen WEKA alat na desktop računaru izlaz iz *FeatureExtractor* klase je tekstualna datoteka u ARFF formatu koji koristi WEKA alat. Zato je realizovana klasa *FeatureFileWriter* koja implementira interfejs *FeatureExtractorListener*. U metodi *notifyListeners()* klase *FeatureExtractor* za svaki registrovani *Listener* se poziva metoda *onFeaturesExtracted(List<Feature> features)*. U ovoj fazi je implementirana klasa koja kao izlaz daje tekstualnu datoteku u ARFF formatu.

Prethodno opisana procedura preuzimanja podataka sa senzora i ekstrakcija izabranih karakteristika podataka u baferu je prikazana dijagramom sekvence na slici 4.10.



Slika 4.10 Procedura ekstrakcije karakteristika podataka iz bafera

Za identifikovanih 6 relevantnih karakteristika je implementirano 6 odgovarajućih podklasa klase *Feature*. Dijagram klasa je dat na slici 4.11.



Slika 4.11 Implementirane klase za ekstrakciju pojedinačnih karakteristika

Ovde treba napomenuti da se srednja vrednost, standardna devijacija, energija i entropija računaju za svaku od osa akceleracionog senzora, dok se srednja vrednost intenziteta vektora ubrzanja (sile) računa za ceo prozor (bafer). Korelacija između dve ose akceleracionog senzora se računa svake dve ose pojedinačno (XZ, XY, YZ). Takođe, energija i entropija se računaju u frekventnom domenu, tako da dodavanje te dve karakteristike u *FeatureExtractor* ima za posledicu računanje spektra za svaki prozor sa podacima.

Konačno, implementirana je i host aplikacija koja se koristi u batch obradi unapred pripremljenih CSV datoteka sa podacima sa akceleracionog senzora za svaki od saobraćajnih manevara koji su identifikovani kao relevantni i koje treba prepoznati tokom vožnje. Inicijalizacija celokupnog sistema obrade i generisanja ARFF datoteke sa karakteristikama je prikazana na listingu prikazanom na slici 4.12.

Ulazni podaci su snimljeni tokom test vožnje u putničkom automobilu C klase pri brzinama tipičnim za gradsku vožnju, između 40 i 50 km/h. Iz snimljenih podataka su izdvojene sekvence od po 512 odmeraka koji sadrže neki od manevara koji se detektuju. Za svaki od manevara (saobraćajnih događaja) koji su identifikovani na početku poglavlja 4 je snimljeno između 10 i 15 ovakvih grupa odmeraka (prozora sa podacima). U svakom prozoru od 512 odmeraka trenutak početka manevara je slučajan. Konačno, svi prozori sa odmercima su grupisani po tipu manevara i tako pripremljeni kao ulazne CSV datoteke za *FeatureExtractor*. Ovako pripremljeni ulazni podaci su propušteni kroz prethodno opisanu biblioteku za ekstrakciju karakteristika. Rezultat je ARFF tekstualna datoteka koja sadrži

sračunate vrednosti karakteristika za svaki prozor u ulaznim podacima. Takođe, svaki prozor je i manuelno označen na osnovu tipa manevra koji sadrži.

```

public class ExtractionManager {
    public static void main(String[] args) {
        if(args.length < 3) {
            System.console().readLine("Not enough parameters.");
            return;
        }

        DataSourceFile dataSourceFile = new DataSourceFile(args[0]);
        Buffer buf = new Buffer(512, 256);
        FeatureExtractor extractor = new FeatureExtractor(512);
        FeatureFileWriter featureFileWriter =
            new FeatureFileWriter(args[1], args[2]);
        dataSourceFile.registerListener(buf);
        buf.registerListener(extractor);
        extractor.registerListener(featureFileWriter);
        extractor.addFeature(new Mean(extractor, Constants.AXIS_X));
        extractor.addFeature(new Mean(extractor, Constants.AXIS_Y));
        extractor.addFeature(new Mean(extractor, Constants.AXIS_Z));
        extractor.addFeature(new StandardDeviation(extractor, Constants.AXIS_X));
        extractor.addFeature(new StandardDeviation(extractor, Constants.AXIS_Y));
        extractor.addFeature(new StandardDeviation(extractor, Constants.AXIS_Z));
        extractor.addFeature(new Correlation(extractor, Constants.AXIS_X,
            Constants.AXIS_Y));
        extractor.addFeature(new Correlation(extractor, Constants.AXIS_X,
            Constants.AXIS_Z));
        extractor.addFeature(new Correlation(extractor, Constants.AXIS_Y,
            Constants.AXIS_Z));

        extractor.addFeature(new AccVectorIntensityMean(extractor));
        extractor.addFeature(new Energy(extractor, Constants.AXIS_X));
        extractor.addFeature(new Energy(extractor, Constants.AXIS_Y));
        extractor.addFeature(new Energy(extractor, Constants.AXIS_Z));
        extractor.addFeature(new Entropy(extractor, Constants.AXIS_X));
        extractor.addFeature(new Entropy(extractor, Constants.AXIS_Y));
        extractor.addFeature(new Entropy(extractor, Constants.AXIS_Z));
        extractor.setFeatures();
        if(featureFileWriter.open()) {
            if(!dataSourceFile.startReading())
                System.console().readLine("Error in reading source file.");
            featureFileWriter.close();
        } else {
            System.console().readLine("Unable to open destination file.");
        }
    }
}

```

Slika 4.12 Inicijalizacija postupka generisanja karakteristika

U nastavku (na slici 4.13) je dat primer ARFF datoteke sa zaglavljem i nekoliko linija podataka.

```
@relation activities
@attribute MeanX numeric
@attribute MeanY numeric
@attribute MeanZ numeric
@attribute StandardDeviationX numeric
@attribute StandardDeviationY numeric
@attribute StandardDeviationZ numeric
@attribute CorrelationXY numeric
@attribute CorrelationXZ numeric
@attribute CorrelationYZ numeric
@attribute AccVectorIntensityMean numeric
@attribute EnergyX numeric
@attribute EnergyY numeric
@attribute EnergyZ numeric
@attribute EntropyX numeric
@attribute EntropyY numeric
@attribute EntropyZ numeric
@attribute Activity { IzbegavanjePrepreke, NagloKocenje, PromenaTrake, UdarneRupe, NormalnaVoznja }
@data
-0.01593408,-0.010341924,0.07795497,2.0114257,0.35169205,0.76605207,-0.22555502,-0.117873356,
-0.14746046,1.5159553,2079.5835,63.575653,301.63535,0.59565437,2.3361983,0.6742749,IzbegavanjePrepreke
-0.07308756,-0.008935092,0.05222962,2.0321949,0.3198221,0.7382544,-0.11060863,-0.12333143,
-0.30627427,1.5456556,2122.7495,52.575706,280.1418,0.6885978,2.691647,0.7690128,IzbegavanjePrepreke
-0.06667005,-4.5110844E-4,0.086879864,2.106556,0.32372218,0.31138518,-0.08651702,
-0.3398336,0.21034373,1.3887377,2280.9473,53.865715,49.83489,0.6999569,3.1892533,1.864966,IzbegavanjePrepreke
```

Slika 4.13 Primer strukture ARFF datoteke

Zaglavlje ARFF formata lista nazive i tipove svih atributa. U ovom primeru imamo pet karakteristika koje se računaju posebno za svaku osu i jednu karakteristiku koja objedinjava sve tri ose. To ukupno čini 16 atributa (karakteristika) i dodatni, poslednji, atribut sadrži manuelnu klasifikaciju manevra koji je predstavljen konkretnim prozorom sa podacima. U *@data* sekciji svaki red predstavlja jedan prozor sa podacima i sadrži konkretne izračunate vrednosti za svih 16 atributa za taj prozor. Na kraju svakog reda prozor je manuelno klasifikovan.

Za klasifikaciju su korišćene implementacije klasifikacionih algoritama u WEKA alatu. U domenu detekcije fizičke aktivnosti korisnika ovo je najčešće korišćen alat za jednostavnu evaluaciju algoritama za mašinsko učenje (Lara, Pérez et al., 2011). Korišćena su tri najčešće korišćena algoritma za klasifikaciju fizičkih aktivnosti koja se sreću u literaturi:

- Naïve Bayes (NB)
Ovaj klasifikator kao premisu ima da nepojavljivanje jedne od karakteristika ne mora nužno da eliminiše uzorak iz skupa poklapanja (Das, Green et al., 2010).
- J48 stablo odlučivanja
J48 klasifikator je WEKA implementacija C4.5 stabla odlučivanja. Ovaj algoritam se često koristi zato što daje rezultat u obliku stabla i jednostavno se implementira

u real-time aplikacijama (Gil, de Jesús et al., 2012). Standardni parametri za J48 stablo odlučivanja koji su korišćeni i koji se koriste i u aktuelnoj literaturi su:

- Faktor pouzdanosti (Confidence factor): 0.25
- Minimalan broj objekata (Minimum number of objects): 2
- Bez odsecanja (Unpruned): false
- IBk

Nearest Neighbour klasa algoritama koji uparuju poznate uzorke podataka sa nepoznatim na osnovu euklidske metrike između dva vektora karakteristika (Weiss i Lockhart, 2011).

Cilj primene ovih algoritama na prikupljene podatke tokom vožnje nije bio eksperimentisanje sa parametrima već poređenje sa rezultatima koje su istraživači iz ove oblasti postigli u prepoznavanju fizičkih aktivnosti korisnika. Iz tog razloga ovi algoritmi su korišćeni po principu “crne kutije”.

Po učitavanju pripremljenog skupa podataka u WEKA alat manuelno označene klase aktivnosti (saobraćajnih manevara) su identifikovane i označene bojama. U vizuellizaciji rezultata WEKA alat koristi sistem bojenja radi lakše interpretacije rezultata. Ukupno je učitano 55 prozora podataka sa sračunatim vrednostima karakteristika i to po klasama:

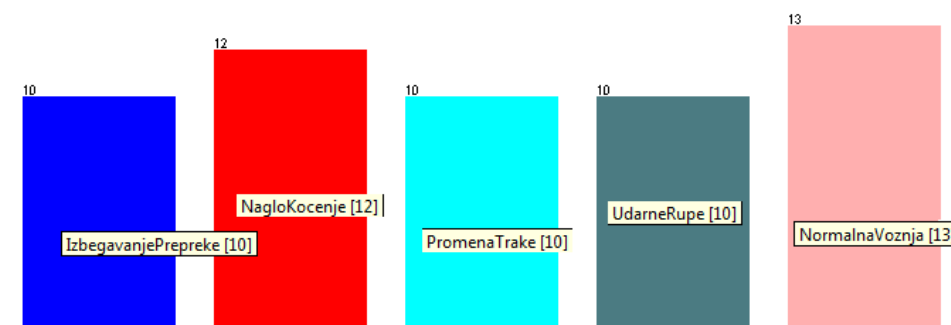
- Izbegavanje prepreke (“test severnog jelena”) – 10
- Naglo kočenje: 12
- Nagla promena saobraćajne trake: 10
- Udarne rupe: 10
- Normalna vožnja: 13

Boje dodeljene ovim klasama u WEKA alatu su prikazane na slici 4.14.

No.	Label	Count
1	IzbegavanjePrepreke	10
2	NagloKocenje	12
3	PromenaTrake	10
4	UdarneRupe	10
5	NormalnaVoznja	13

Class: Activity (Nom)

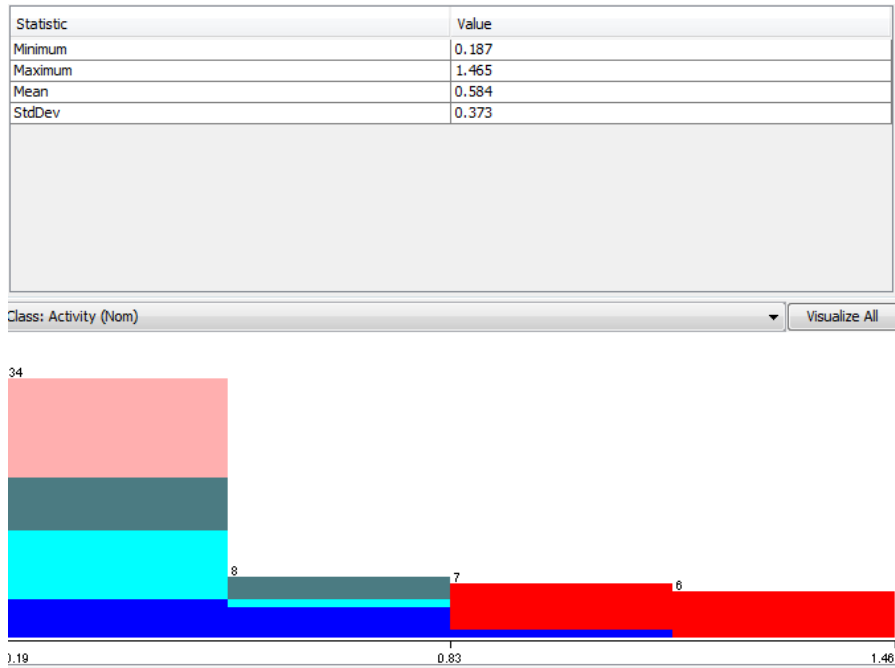
Visualize All



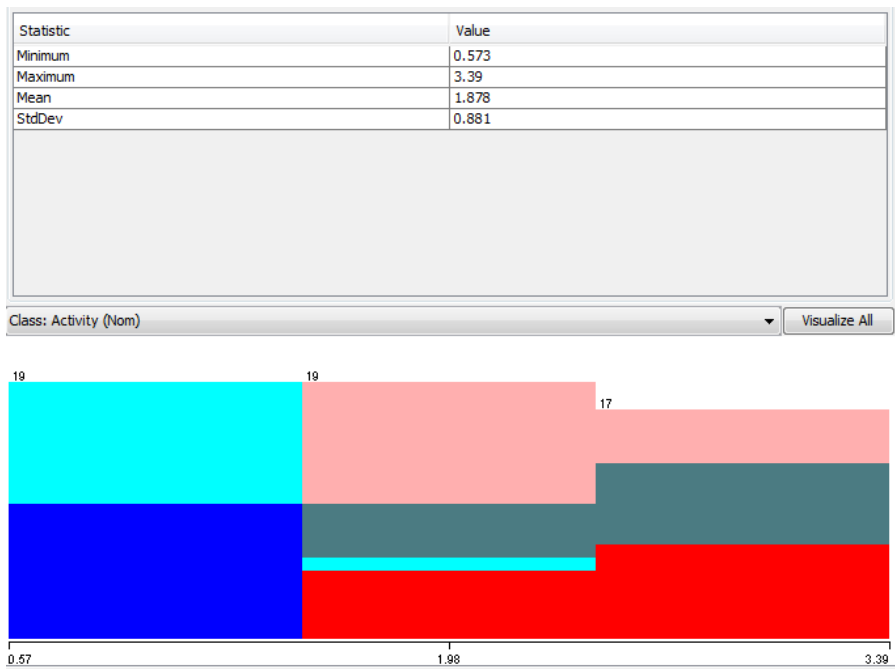
Slika 4.14 Učitani prozori sa karakteristikama i manuelno označene klase

Pre samog obučavanja i testiranja klasifikatora zanimljivo je pogledati raspodelu broja prozora sa podacima po opsezima vrednosti pojedinih karakteristika. Tako na primer raspodela standardne devijacije po Z osi, prikazana na slici 4.15, jasno diferencira naglo kočenje od normalne vožnje. Takođe i izbegavanje prepreke je jasno izdvojeno od naglog kočenja. Još jedan dobar primer je entropija po X osi. Raspodela vrednosti ove karakteristike jasno diferencira promenu trake od udarne rupe. Ova diferencijacija se može najbolje zapaziti na slici 4.16. Ova diferencijacija može dati dobre smernice za formiranje modela klasifikacije zasnovanih na stablima odlučivanja, što će biti i potvrđeno i rezultatima klasifikacije za J48 algoritam.

Obučavanje i testiranje klasifikatora je obavljeno korišćenjem unakrsne validacije sa 10 preklapanja. Kod unakrsne validacije sa 10 preklapanja ulazni podaci se nasumično dele u 10 podgrupa jednake veličine. Svaka od podgrupa se zatim koristi za testiranje uz obučavanje klasifikatora korišćenjem preostalih 90% ulaznih podataka, što znači da se obučavanje i testiranje klasifikatora obavlja 10 puta pri čemu sa sigurnošću znamo da će svaka instanca biti iskorišćena i za obučavanje i za testiranje. Krajnji rezultat testiranja jeste prosek rezultata dobijenih nakon ovih 10 testiranja.



Slika 4.15 Raspodela vrednosti standardne devijacije po Z osi za klase manevara



Slika 4.16 Raspodela vrednosti entropije po X osi za klase manevara

Rezultati testiranja odabranih klasifikatora su prikazani u tabeli Tabela 4.1. Iz tabele se vidi da je procenat tačno klasifikovanih instanci između 70 i 85%. Ovaj rezultat je značajno niži od tipičnih procenata uspešnih klasifikacija fizičkih aktivnosti korisnika. Tipične vrednosti koje autori u radovima iz ove oblasti postižu su veće od 90% pa često i od 95%. Razloge za ovako niži procenat u domenu prepoznavanja saobraćajnih manevara

(događaja) treba tražiti u izrazito periodičnim karakteristikama fizičkih aktivnosti kao što su koračanje, trčanje, vožnja bicikla i sl. Ovo ima za posledicu veći broj ponavljanja u jednom prozoru karakterističnog oblika signala sa akceleracionog senzora i pouzdaniju ekstrakciju izabranih karakteristika.

Klasifikator	Procenat tačno
C4.5 stablo odlučivanja (J48)	70.9%
Naivne Bayes-ove mreže	81.81%
K najbližih suseda (IB3)	81.81%
K najbližih suseda (IB1)	83.63%

Tabela 4.1 Uspešnost testiranih klasifikatora

Pre detaljnije analize mera uspešnosti klasifikatora zanimljivo je pogledati strukturu stable odlučivanja za J48 klasifikator. Ovo stablo je prikazano na slici 4.17. Stablo ima 6 nivoa pri čemu se na prvom nivou koristi vrednost entropije po X osi, a na drugom vrednost standardne devijacije po Z osi. Ovi rezultati samo potvrđuju prethodno iznetu pretpostavku formiranu na osnovu analize raspodela vrednosti karakteristika prikazanu na slikama 4.15 i 4.16.

```
J48 pruned tree
-----

EntropyX <= 1.671491
| CorrelationYZ <= 0.080041: IzbegavanjePrepreke (9.0)
| CorrelationYZ > 0.080041: PromenaTrake (11.0/1.0)
EntropyX > 1.671491
| StandardDeviationZ <= 0.807099
| | StandardDeviationX <= 0.511411: NormalnaVoznja (7.0)
| | StandardDeviationX > 0.511411
| | | MeanY <= -0.00697: UdarneRupe (5.0)
| | | MeanY > -0.00697
| | | | AccVectorIntensityMean <= 0.644851: UdarneRupe (3.0)
| | | | AccVectorIntensityMean > 0.644851
| | | | | MeanY <= 0.001511
| | | | | MeanY <= -0.002499: NormalnaVoznja (2.0)
| | | | | MeanY > -0.002499: UdarneRupe (2.0)
| | | | | MeanY > 0.001511: NormalnaVoznja (4.0)
| | StandardDeviationZ > 0.807099: NagloKocenje (12.0)

Number of Leaves :    9

Size of the tree :   17
```

Slika 4.17 Formirano stablo odlučivanja J48 klasifikatora

WEKA alat kao mere za procenu uspešnosti klasifikatora između ostalih koristi preciznost, povraćaj (*recall*) i F-meru. Preciznost predstavlja broj pravilno identifikovanih

aktivnosti među onim prozorima koji su identifikovani da sadrže neku od aktivnosti. Povraćaj (recall) predstavlja proporciju instanci klasifikovanih kao aktivnost A među svim instancama koje su realno aktivnost A. F-mera (F-measure) je hibridna mera koja kombinuje preciznost i povraćaj i računa se kao $2 * \text{Precision} * \text{Recall} / (\text{Precision} + \text{Recall})$.

Konfuziona matrica i prethodno opisane mere uspešnosti klasifikatora su prikazane na slici 4.18.

```

=== Confusion Matrix ===
Precision  Recall  F-Measure  a  b  c  d  e  <-- classified as
0.8         0.8         0.8         8  0  2  0  0 | a = IzbegavanjePrepreke
1           1           1           0 12  0  0  0 | b = NagloKocenje
0.778       0.7         0.737       2  0  7  0  1 | c = PromenaTrake
0.429       0.3         0.353       0  0  0  3  7 | d = UdarneRupe
0.529       0.692        0.6         0  0  0  4  9 | e = NormalnaVoznja

```

Slika 4.18 Konfuziona matrica i mere uspešnosti J48 klasifikatora

Iz prikazane konfuzione matrice se vidi da J48 klasifikator ima najviše problema sa razlikovanjem normalne vožnje i prisustva udarnih rupa. Vrednosti preciznosti su vrlo niske, 0.429 i 0.529. Takođe, treba uočiti da su dva manevra promene trake pogrešno identifikovana kao izbegavanje prepreke. Ovo je razumljivo kada se ima u vidu da je manevar promene saobraćajne trake praktično polovina manevra izbegavanja prepreke

Naivne Bayes-ove mreže imaju znatno veći procenat uspešnosti, nešto više od 80%. Ovaj rezultat je sasvim u skladu sa rezultatima primene naivnih Bayes-ovih mreža u prepoznavanju fizičkih aktivnosti. Konfuziona matrica i mere uspešnosti su prikazane na slici 4.19.

```

=== Confusion Matrix ===
Precision  Recall  F-Measure  a  b  c  d  e  <-- classified as
0.909       1         0.952      10  0  0  0  0 | a = IzbegavanjePrepreke
0.923       1         0.96       0 12  0  0  0 | b = NagloKocenje
0.889       0.8         0.842       1  1  8  0  0 | c = PromenaTrake
0.625       0.5         0.556       0  0  1  5  4 | d = UdarneRupe
0.714       0.769        0.741       0  0  0  3 10 | e = NormalnaVoznja

```

Slika 4.19 Konfuziona matrica i mere uspešnosti naivnog Bayes-ovog klasifikatora

Ovaj klasifikator vrlo uspešno detektuje manevre izbegavanja prepreka i naglog kočenja dok ima problema sa identifikacijom udarnih rupa.

Konfuziona matrica i mere uspešnosti za KNN klasifikator i to za varijante IB3 i IB1 su prikazane na slikama 4.20 i 4.21.

```

=== Confusion Matrix ===
Precision  Recall  F-Measure  a  b  c  d  e  <-- classified as
0.909      1      0.952    10  0  0  0  0 | a = IzbegavanjePrepreke
1          1          1         0 12  0  0  0 | b = NagloKocenje
1          0.9      0.947     1  0  9  0  0 | c = PromenaTrake
0.667      0.4      0.5       0  0  0  4  6 | d = UdarneRupe
0.647      0.846    0.733     0  0  0  2 11 | e = NormalnaVoznja
    
```

Slika 4.20 Konfuziona matrica i mere uspešnosti KNN klasifikatora (IB1)

```

=== Confusion Matrix ===
Precision  Recall  F-Measure  a  b  c  d  e  <-- classified as
0.909      1      0.952    10  0  0  0  0 | a = IzbegavanjePrepreke
1          0.833    0.909     0 10  2  0  0 | b = NagloKocenje
0.818      0.9      0.857     1  0  9  0  0 | c = PromenaTrake
0.8         0.4      0.533     0  0  0  4  6 | d = UdarneRupe
0.667      0.923    0.774     0  0  0  1 12 | e = NormalnaVoznja
    
```

Slika 4.21 Konfuziona matrica i mere uspešnosti KNN klasifikatora (IB3)

Zanimljivo je uočiti da KNN klasifikator u jednom slučaju naglo kočenje prepoznaje kao promenu trake. Ovo se može posmatrati zapravo i kao sposobnost klasifikatora da u nekom manevru prepozna kočenje. Naime, svaki manevar izbegavanja prepreke i nagle promene kolovozne trake zapravo uključuje i kočenje određenog intenziteta.

Iz svega prethodno izloženog može se zaključiti da je KNN (IB1) klasifikator najpouzdaniji. Međutim, metod unakrsne validacije sa 10 preklapanja (10 fold cross-validation) se primenjuje na unapred pripremljene i manuelno isečene i spojene test podatke. Razloge izuzetno visoke pouzdanosti klasifikacije koju ovaj metod testiranja daje, naročito za periodične fizičke aktivnosti, treba tražiti upravo u ovom “veštačkom” formiranju testnog skupa podataka. Realniji način testiranja, koji mnogo bolje predviđa ponašanje klasifikatora u radu u realnom vremenu, je formiranje modela na osnovu ovako pripremljenog testnog skupa podataka i primena modela na skup podataka koji je snimljen bez prekida i bez ikakvih modifikacija u vidu sečenja i lepljenja. Ovaj drugi skup podataka je prikupljen u realnoj vožnji dugoj 2.5km. Tokom vožnje pri prosečnoj brzini između 40 i 50km/h u trenucima kada je to bilo bezbedno nasumičnim redosledom su izvedeni svi prethodno identifikovani relevantni manevri. Bezbednosti radi, intenzitet svih ovih manevara je nešto manji nego prilikom inicijalnog formiranja testnog skupa. Osim ovih manevara u snimljenim podacima postoje normalna (regularna) skretanja i veći broj udarnih rupa različitog oblika i dubine, kao i kolovoz različitog kvaliteta. U jednom delu

snimljene rute su postojali i radovi na putu. Prethodno opisani postupak klasifikacije korišćenjem WEKA alata je objavljen u radu (Jajac, Predić et al., 2012).

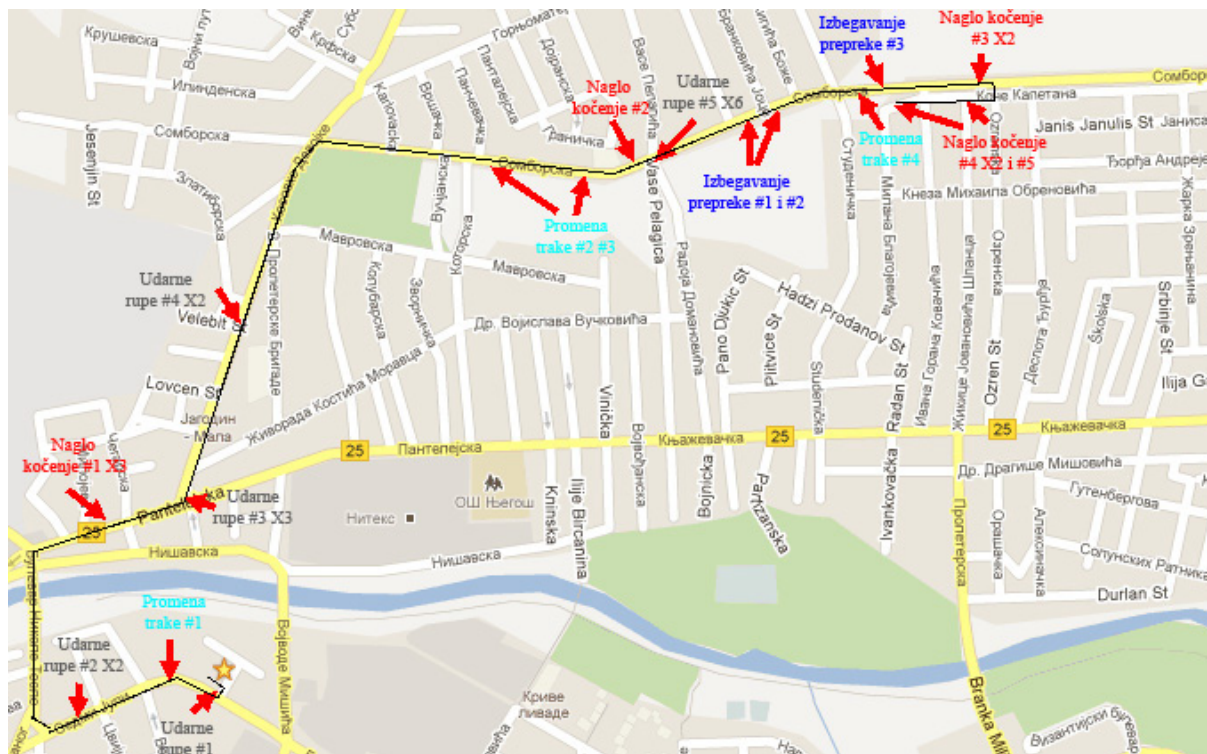
Tokom kompletne vožnje snimljeno je 26326 uzoraka sa akceleracionog senzora. Posle propuštanja kroz *FeatureExtractor* biblioteku ovi podaci su podeljeni na 101 prozor veličine 512 uzoraka. Ovi prozori su skokovito pomerani za 256 uzoraka tako da se susedni prozori preklapaju 50%. Metod segmentacije ulaznih podataka je identičan kao i prilikom formiranja manuelno označenog trening skupa sa jedinom razlikom što je ovaj 101 prozor georeferenciran radi lakše identifikacije na snimljenoj ruti. Tipovi manevara i njihov broj koji su identifikovani na ovoj ruti su sumirani u tabeli 4.2.

Manevar	Broj identifikovanih instanci
Izbegavanje prepreke	3
Promena trake	4
Naglo kočenje	9
Udarna rupa	18
Normalna vožnja	67

Tabela 4.2 Identifikovani manevri (saobraćajni događaji) na snimljenoj ruti

Snimljena ruta, kao i lokacije detektovanih saobraćajnih događaja (manevara) su prikazani na slici 4.22. Sve tri instance izbegavanja prepreke su korektno identifikovane. Ovo je očekivano obzirom da je u pitanju vrlo intenzivan i specifičan manevar koji se ne javlja često u realnom saobraćaju. Jedna promena trake je lažno identifikovana (false positive). U pitanju je promena trake #1. Ovo lažno identifikovanje je i razumljivo kada se uzme u obzir da je na toj lokaciji relativno oštra krivina i da se vozilo u tom trenutku kretalo znatno većom brzinom nego pri ostalim testiranjima (65km/h) pa su i manifestovane sile bile veće. Od devet identifikovanih naglih kočenja samo dva se mogu smatrati za izuzetno nagla (sa uključivanjem ABS sistema) i to kočenja #2 i #5. Kočenja #3 i #4 su normalna kočenja pred skretanje pod ostrim uglom, a sva ostala identifikovana kočenja su se događala u redovnom saobraćaju. Od 18 identifikovanih udarnih rupa samo dve instance se mogu smatrati relevantnim. Udarna rupa #1 je u stvari silazak sa trotoara

na kolovoz, ali ima sve karakteristike nailaska na udarnu rupu. Udarne rupa #3 je nailazak na denivelisanu šahtu na sredini raskrsnice i ovaj događaj se takođe može smatrati udarnom rupom. Udarne rupa #5 predstavlja realnu vožnju u zoni radova na putu po isečenom asfaltu.



Slika 4.22 Realna snimljena ruta sa lokacijama identifikovanih saobraćajnih događaja

Kod identifikacije udarnih rupa se zapaža zanimljiv efekat prostorno/vremenskog grupisanja identifikovanih događaja. Veći broj prostorno/vremenski bliskih događaja jedne vrste povećava pouzdanost identifikacije, odnosno predstavlja indicaciju da nije u pitanju lažna identifikacija. Udarne rupa #5 je najočigledniji primer ovog efekta. U skladu sa ovim zapažanjem prostorno/vremensko grupisanje u postprocesiranju prijavljenih saobraćajnih događaja će u poglavlju 5 biti detaljnije razmotreno kao metoda povećanja pouzdanosti identifikacije saobraćajnih događaja.

4.5 Lokalizovana analiza podataka sa akcelerometra na mobilnim klijentskim uređajima

U fazi prikupljanja podataka u kojoj je implementiran naivan pristup slanja kompletnog toka podataka sa mobilnog uređaja u centralni server na dalju obradu je uočena očigledna neefikasnost ovakvog pristupa. Iako je ovaj pristup komunikacije između mobilnih uređaja i kontrolnog centra široko korišćen u FCD sistemima sama količina

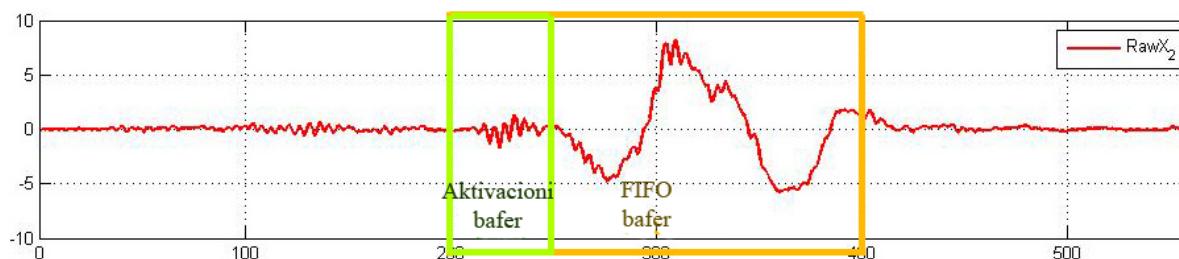
generisanih podataka kod XFCĐ sistema ga čini ekstremno neefikasnim i praktično nemogućim. To je posebno izraženo prilikom korišćenja akcelerationog senzora kao dodatnog senzora. Kako je na početku 4. poglavlja uočeno u fazi prikupljanja podataka samo jedan korisnik tokom sat vremena bi na ovaj način preneo oko 7MB podataka što je potpuno neprihvatljivo za prosečnog anonimnog korisnika koji učestvuje u sistemu participatornog opažanja i prikupljanja podataka iz grupe anonimnih korisnika. Iz tog razloga je očigledna potreba implementacije modula za analizu podataka sa akcelerationog senzora na samom klijentskom mobilnom uređaju. Izlaz ovog modula je identifikovan tip saobraćajnog događaja (manevra) i samo po uspešnoj detekciji poruka sa koordinatama i tipom identifikovanog događaja se šalje u kontrolni centar. Neuporedivo manji protok podataka po tipično skupoj mreži mobilnog operatera je sasvim prihvatljiv i skoro zanemarljiv za krajnjeg korisnika (vozača).

Pre odluke o vrsti analize koju je moguće efikasno implementirati na samom mobilnom uređaju u poglavlju 4.4 su primenjene neke tehnike analize podataka sa akcelerationog senzora koje se sreću u literaturi u domenu prepoznavanja fizičke aktivnosti korisnika. Rezultati su pokazali da je primena ovih metoda moguća u detekciji saobraćajnih manevara ali sa приметно nižom pouzdanošću detekcije. Naime, tipičan procenat uspešno identifikovanih tipova fizičke aktivnosti korisnika koji se sreću u literaturi je 90% i više dok primena istih ovih metoda na saobraćajne događaje daje procena uspešnosti prepoznavanja između 70 i 80%. Razloge za ovo treba tražiti prvenstveno u karakteristikama signala sa akcelerationog senzora za fizičke aktivnosti i saobraćajne manevre. Glavna karakteristika signala sa akcelerationog senzora tokom tipičnih fizičkih aktivnosti je periodičnost (Kawahara, Kurasawa et al., 2007). U poglavlju 4.1 nakon prikupljanja podataka sa akcelerationog senzora tokom karakterističnih saobraćajnih manevara je uočeno upravo odsustvo periodičnosti, pa u ovoj činjenici treba tražiti razloge značajno nižih procenata uspešnosti prepoznavanja primenom algoritama za prepoznavanje fizičke aktivnosti na podatke prikupljene tokom saobraćajnih događaja (manevara). Ovo sugeriše da su potrebne druge ili dodatne metode za uspešnu detekciju saobraćajnih događaja na samim mobilnim klijentskim uređajima.

Jedan od pristupa je računanje korelacija podataka sa akcelerationog senzora sa unapred pripremljenim uzorcima snimljenim za svaki od relevantnim manevara. Ovaj metod se uklapa u prethodno korišćen princip segmentacije dolaznih podataka u prozore u protočnom baferu. U prethodnom poglavlju su računane neke karakteristike podataka sa

akceleracionog senzora u vremenskom i frekventnom domenu kao što su srednja vrednost, standard devijacija itd. U poglavlju 4.4 je korišćen protočni bafer veličine 512 uzoraka sa skokovitim pomerajem prozora za 256 uzoraka. Iako je ovaj princip segmentacije podataka adekvatan za periodične aktivnosti, u saobraćajnom domenu ne postoji ova periodičnost i ako se primeni ovako veliki skok prozora, prilikom korelacije ne možemo pretpostaviti u kom delu bafera će se naći relevantan deo podataka koji predstavlja manevar koji detektujemo. Takođe, obzirom da događaji (manevri) koje detektujemo traju relativno kratko i nema periodičnosti možemo koristiti mnogo manji bafer dužine 200 uzoraka. Na drugoj strani, obzirom da u ulaznim podacima nema periodičnosti i računa se korelacija ulaznih podataka sa unapred pripremljenim uzorcima pomeraj prozora mora biti mnogo manji, tipično jedan uzorak. U svrhu optimizacije performansi modula za analizu moguće je pomeraj prozora povećati na par uzoraka (do 3% veličine prozora) bez značajnog smanjenja maksimalne vrednosti sračunate korelacije. Prilikom lokalizovane analize toka podataka sa akceleracionog senzora osim smanjenja količine prenetih podataka preko mobilne mreže, kritično je pitanje minimizacije opterećenja procesora mobilnog uređaja, kao i minimizacija potrošnje energije. Neki od algoritama korišćeni u modulu za analizu i detekciju saobraćajnih događaja sadrže procesorski intenzivna izračunavanja i korisno je aktivirati ih samo po potrebi, kada postoji indikacija da je možda došlo do nekog relevantnog saobraćajnog događaja. Upravo računanje korelacije i frekventne karakteristike predstavljaju operacije koje je dobro aktivirati samo po potrebi. Sa druge strane, računanje standardne devijacije je relativno „jeftin“ proces po pitanju procesorskih resursa i kao takav se može izvršavati stalno i predstavljati aktivator za module koji računaju korelaciju i frekventnu karakteristiku. Takođe, tokom vožnje (navigacije) GPS prijemnik je u svakom slučaju uključen, pa se informacija o trenutnoj brzini dodatno može iskoristiti kao uslov aktivacije složenijih modula za analizu. Na primer, realno je definisati donju granicu brzine ispod koje nema smisla detektovati saobraćajne događaje. Konačno, ukoliko se vozilo kreće brzinom većom od granične (realna donja granica je 10km/h) i u dolaznim podacima sa akceleracionog senzora postoji značajna varijansa (sračunata standardna devijacija) uključuju se moduli za računanje korelacije i frekventne karakteristike. Na ovaj način se uspešno mogu eliminisati vibracije (sile) koje se javljaju dok vozilo stoji koje može generisati na primer otvaranje i zatvaranje vrata, prtljažnika i sl. U ovu svrhu je potrebno izdvojiti početni deo protočnog bafera i u tom delu konstantno računati standardnu devijaciju. Ukoliko vrednosti trenutne brzine i standardne devijacije pređu zadate vrednosti ostali moduli za analizu se aktiviraju i primenjuju na kompletan

protočni bafer. Ovaj prvi deo bafera (realno je odvojiti 25% ukupne veličine bafera) je aktivacioni bafer. Protočni bafer, kao i izdovjeni aktivacioni bafer na primeru podataka po X osi manevra izbegavanja prepreke je prikazan na slici 4.23.

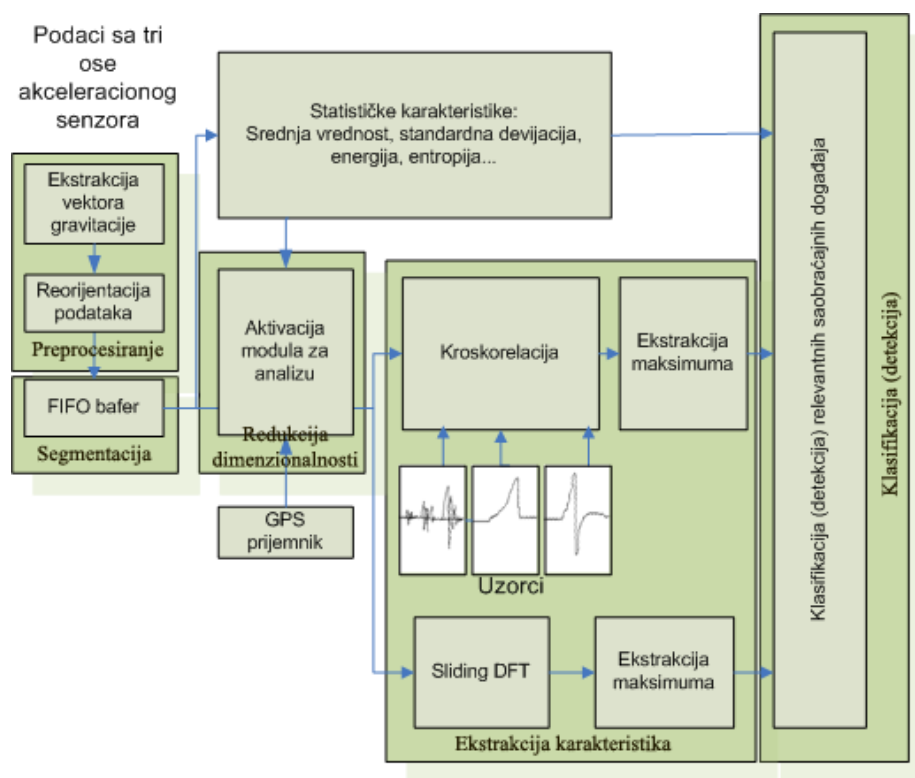


Slika 4.23 Primer FIFO bafera korišćenog za analizu i detekciju

Bilo koji proces klasifikacije u šta spada i posmatrani proces detekcije karakterističnih saobraćajnih događaja se može podeliti na 5 karakterističnih koraka:

1. Preprocesiranje
2. Segmentacija
3. Redukcija dimenzionalnosti
4. Ekstrakcija karakteristika i
5. Klasifikacija

U skadu sa ovim koracima moguće je definisati tok podataka sa akcelerationog senzora kroz veći broj modula za procesiranje pri čemu se tok završava klasifikacijom (detekcijom) saobraćajnog događaja. Ovaj tok podataka je prikazan na slici 4.24. Predloženi tok obrade podataka sa akcelerationog senzora u mobilnoj klijentskoj aplikaciji je objavljen u radu (Predić, Stojanović et al., 2010).



Slika 4.24 Tok podataka u lokalizovanoj analizi i detekciji

4.5.1 Preprocesiranje

Faza preprocesiranja je potrebna da bi se eliminisali svi spoljašnji uticaji na prikupljene podatke pre njihovog uvođenja u protočni bafer (segmentacije). Ovi spoljašnji uticaji u slučaju akceleracionog senzora se svode na dejstvo stalnih sila i unapred nepoznatu orijentaciju uređaja, odnosno osa akceleracionog senzora. Na početku poglavlja 4 je naglašeno da većina današnjih mobilnih uređaja integriše takozvani „statički“ tip akceleracionog senzora, što znači da detektuju dejstvo sile, a ne samo promene. U skladu sa tim uticaj gravitacije će stalno biti prisutan u podacima koji stižu sa akceleracionog senzora. Ovo je jedan parametar koji nepovoljno utiče na univerzalnost detekcije u svim uslovima orijentacije mobilnog uređaja. Iz tog razloga je prvi korak preprocesiranja ekstrakcija komponenti vektora sile gravitacije kroz izdvajanje jednosmerne komponente po sve tri ose akceleracionog senzora. Zatim se ove jednosmerne komponente uklanjaju iz podataka koji se prosleđuju dalje na analizu. Za ovu eliminaciju se koristi algoritam digitalnog filtra propusnika niskih frekvencija za koji je pseudokod dat u nastavku:

```

function lowpass(real[0..n] x, real dt, real RC)
  var real[0..n] y
  var real  $\alpha$  := dt / (RC + dt)
  y[0] := x[0]
  for i from 1 to n
    y[i] :=  $\alpha$  * x[i] + (1- $\alpha$ ) * y[i-1]
  return y

```

Pri čemu je dt vremenski interval, odnosno frekvencija uzorkovanja (pristizanja podataka sa akceleracionog senzora), a RC konstanta određuje „inerciju sistema“. Faktor α praktično određuje graničnu frekvenciju filtra. Na ovaj način izdvojene jednosmerne komponente iz podataka predstavljaju praktično komponente vektora sile gravitacije i koriste se za rekonstrukciju ovog vektora i reorijentaciju mobilnog uređaja, odnosno reorijentaciju podataka po pojedinačnim osama akceleracionog senzora.

Obzirom da sistem anonimnog participatornog opažanja u saobraćajnom domenu pretpostavlja veliki broj slučajnih korisnika (vozača), ne možemo unapred znati način montiranja klijentskog mobilnog uređaja u vozilu. Može se pretpostaviti par logičnih mesta za montažu, kao što su: u nosaču povezanom na vetrobransko staklo, fiksiran za komandnu tablu i sl., ali o samoj orijentaciji uređaja se ne može ništa pretpostaviti osim da ekran sigurno gleda ka vozaču. Iz tog razloga neophodno je odrediti reorijentaciju uređaja, a samim tim i akceleracionog senzora na osnovu rekonstruisanog vektora gravitacije. U tu svrhu je optimalno iskoristiti dobro poznati metod Euler-ovih uglova koji se koristi u robotici.

Položaj mobilnog uređaja, a samim tim i akceleracionog senzora, se posmatra u odnosu na trodimenzionalni pravougli koordinatni sistem, koji predstavlja referentni sistem, u kome je X – osa usmerena ulevo, Z – osa unapred (u pravcu vožnje), a Y – osa je usmerena u pravcu sile zemljine teže, na dole. Podrazumeva se da je uređaj dobro orijentisan ako je njegov koordinatni sistem (x, y, z) usklađen sa sistemom (X, Y, Z) . Veza ovako definisanog koordinatnog sistema sa mobilnim klijentskim uređajem je prikazana na slici 4.1. Ubrzanja uređaja (konkretnije, sile koje deluju na ose akceleracionog senzora) duž njegovih koordinatnih osa su a_x , a_y i a_z . Kada je uređaj dobro orijentisan ona odgovaraju vrednostima ubrzanja a_X , a_Y i a_Z u odnosu na sistem (X, Y, Z) . Sve vrednosti

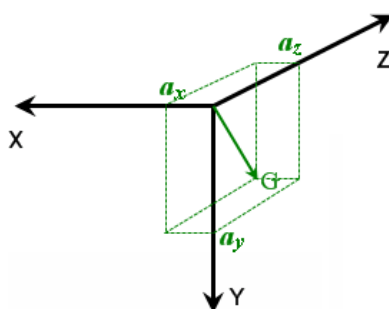
ubrzanja su izražene u odnosu na gravitaciono ubrzanje ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$). Na primer, kada je uređaj u stanju mirovanja, tada je $a_x = 0$, $a_y = 1g$, $a_z = 0$.

Pri deorijentaciji uređaja dolazi do rotacije njegovog lokalnog koordinatnog sistema $Oxyz$ (Slika 4.25).



Slika 4.25 Deorijentisan koordinatni sistem (slobodno zarotiran mobilni uređaj)

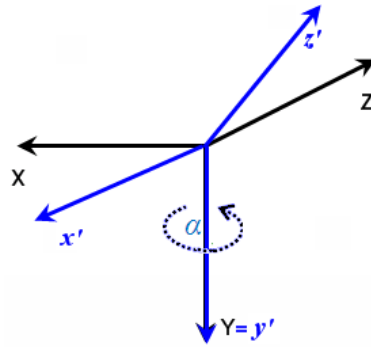
Jedan od načina za definisanje željene orijentacije koordinatnog sistema je putem zadavanja Euler-ovih uglova α , β i γ koji predstavljaju tri uzastopne rotacije izvedene na tačno određeni način oko određenih koordinatnih osa. Postoji dvanaest načina definisanja Euler-ovih uglova (redosleda oko kojih koordinatnih osa se radi rotacija i kojim redosledom). U nastavku je korišćen metod YXY zbog orijentacije osa akcelerometra u odnosu na ekran mobilnog uređaja. Za izmerene komponente vektora sile gravitacije a_x , a_y i a_z duž osa lokalnog koordinatnog sistema mobilnog računarskog uređaja (akcelerometra) x , y i z , rotacijom tačku G treba poklopiti sa tačkom $(0,1,0)$ kako bi izvršili pravilnu reorijentaciju mobilnog uređaja. Ovaj princip je prikazan na slici 4.26.



Slika 4.26 Komponente vektora sile gravitacije u deorijentisanom koordinatnom sistemu mobilnog uređaja

Na ovaj način rotacija koordinatnog sistema može biti predstavljena pomoću Euler-ovih uglova (celokupna rotacija predstavljena kroz slike 4.27, 4.28 i 4.284.29):

α – ugao rotacije oko Y – ose (tom rotacijom Z – osa se preslikava u novu osu z' , a X – osa se preslikava u novu osu x');

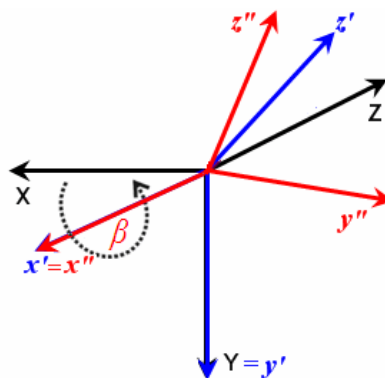


Slika 4.27 Princip rotacije koordinatnog sistema pomoću Euler-ovih uglova

Ova rotacija oko Y – ose za ugao α je predstavljena matricom rotacije:

$$R_Y(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

β – ugao rotacije oko nove x' – ose (tom rotacijom Z – osa se preslikava u novu z'' – osu, a Y – osa se preslikava u novu y'' – osu);

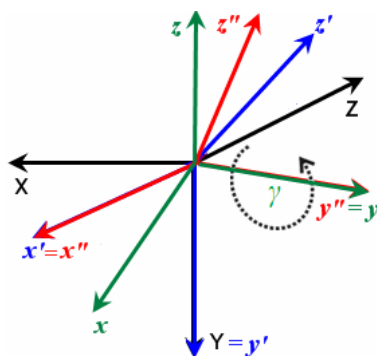


Slika 4.28 Rotacija oko nove (x') ose

Matrica rotacije oko x' – ose za ugao β je:

$$R_{x'}(\beta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix}$$

γ – ugao rotacije oko nove y'' – ose;


 Slika 4.29 Poklapanje Y-ose rotacijom za ugao γ

Matrica rotacije oko y'' – ose za ugao γ je:

$$R_{y''}(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix}$$

Potpuna transformacija, koja podrazumeva sve tri rotacije istovremeno predstavljena je matricom rotacije M :

$$\begin{aligned} M &= \begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \sin \beta & \sin \alpha \cos \beta \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ -\sin \alpha & -\cos \alpha \sin \beta & \cos \alpha \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} -\sin \alpha \cos \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & -\sin \alpha \sin \beta & \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma \\ -\sin \beta \sin \gamma & \cos \beta & \sin \beta \cos \gamma \\ -\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma & -\cos \alpha \sin \beta & \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Orijentaciju mobilnog uređaja ima smisla računati u stanju mirovanja kada se vektor sile gravitacije rastavlja na komponente duž lokalnog koordinatnog sistema mobilnog uređaja (akcelerometra). To su praktično izdvojene jednosmerne komponente a_x , a_y , a_z .

M je matrica rotacije koja tačku (a_x, a_y, a_z) preslikava u tačku (a_x, a_y, a_z) , to jest.

$$M \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -\sin \alpha \cos \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & -\sin \alpha \sin \beta & \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma \\ -\sin \beta \sin \gamma & \cos \beta & \sin \beta \cos \gamma \\ -\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma & -\cos \alpha \sin \beta & \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -\sin \alpha \sin \beta \\ \cos \beta \\ -\cos \alpha \sin \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}$$

Koordinatne ose x i z deorijentisanog uređaja, više nisu ortogonalne sa Y – osom, pa će ubrzanja a_x i a_z biti jednaka projekcijama ubrzanja $1g$ duž Y – ose na ose x i z .

Iz poslednje jednakosti najpre je moguće odrediti ugao β . Naime, pošto je $a_y = \cos \beta$, sledi $\beta = \arccos a_y$.

Pošto je $a_x = -\sin \alpha \sin \beta$ i $a_z = -\cos \alpha \sin \beta$, da bismo odredili ugao α podelićemo prvu jednakost drugom:

$$\frac{a_x}{a_z} = \frac{-\sin \alpha \sin \beta}{-\cos \alpha \sin \beta} = \tan \alpha$$

odakle sledi da je $\alpha = \arctan \frac{a_x}{a_z}$.

Ovo izvođenje nameće zaključak da nije moguće odrediti rotaciju uređaja oko pravca vektora sile gravitacije, tj. ugao γ koji se potire. Ovaj zaključak je i zdravorazumski logičan obzirom da je očigledno da rotacija uređaja oko pravca sile gravitacije nema nikakav uticaj na vektor sile gravitacije koji se upravo i koristi za reorijentaciju. Iako je ovaj problem zanemarljiv iz razloga da rotacija oko pravca vektora sile gravitacije ne može biti značajna jer će vozač sigurno montirati uređaj tako da gleda u ekran, odnosno ekran će biti orijentisan ka zadnjem delu vozila, mnogi autori ovom problemu posvećuju posebnu pažnju. Obzirom da je nemoguće potpuno odrediti orijentaciju uređaja u jednom homogenom polju sile (gravitacionom), mnogi autori koriste kratke intervale u kojima postoji još jedno homogeno polje sile (kočenja). Osnovni problem ovog pristupa je tipično jako kratak period kočenja i potreba da se kočenje identifikuje nekim drugim senzorom.

Proces procene ugla γ bi bio identičan procesu određivanja uglova α i β u homogenom polju sile gravitacije. Uvođenjem dodatnog homogenog polja sile kočenja duž Z ose je moguće samo proceniti vrednost ugla γ zato što intenzitet sile kočenja nije unapred poznat za razliku od intenziteta sile gravitacije i istovremeno uz silu kočenja postoji i sila gravitacije koju nije moguće eliminisati.

Na osnovu izmerenih ubrzanja i procenjenih uglova α i β , moguće je proceniti ugao γ , kao ugao koji maksimizira procenu ubrzanja a_z' duž Z – ose, pri čemu je a_z' procena i ne mora biti jednaka pravoj vrednosti a_z . Ovu procenu moguće je izraziti

prolazeći korak po korak kroz rotacije za sva tri Euler-ova ugla oko odgovarajućih koordinatnih osa, takozvanom metodom dekompozicije.

Rotacija oko Y – ose za ugao α opisana je jednačinom:

$$\begin{bmatrix} \cos \alpha & 0 & \sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a'_x \\ a'_y \\ a'_z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a_x \cdot \cos \alpha + a_z \cdot \sin \alpha \\ a_y \\ -a_x \cdot \sin \alpha + a_z \cdot \cos \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a'_x \\ a'_y \\ a'_z \end{bmatrix}$$

$$a'_x = a_x \cdot \cos \alpha + a_z \cdot \sin \alpha$$

$$a'_y = a_y$$

$$a'_z = -a_x \cdot \sin \alpha + a_z \cdot \cos \alpha$$

Pri rotaciji oko x' – ose za ugao β tačka (a'_x, a'_y, a'_z) se preslikala u tačku $(a'^{\alpha\&\beta}_x, a'^{\alpha\&\beta}_y, a'^{\alpha\&\beta}_z)$:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a'_x \\ a'_y \\ a'_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a'^{\alpha\&\beta}_x \\ a'^{\alpha\&\beta}_y \\ a'^{\alpha\&\beta}_z \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a'_x \\ a'_z \cdot \sin \beta + a'_y \cdot \cos \beta \\ a'_z \cdot \cos \beta - a'_y \cdot \sin \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a'^{\alpha\&\beta}_x \\ a'^{\alpha\&\beta}_y \\ a'^{\alpha\&\beta}_z \end{bmatrix}$$

$$a'^{\alpha\&\beta}_x = a'_x$$

$$a'^{\alpha\&\beta}_y = a'_z \cdot \sin \beta + a'_y \cdot \cos \beta$$

$$a'^{\alpha\&\beta}_z = a'_z \cdot \cos \beta - a'_y \cdot \sin \beta$$

Nakon poslednje rotacije za ugao γ je $a'_z = a'^{\alpha\&\beta\&\gamma}_z$.

$$\begin{bmatrix} \cos \gamma & 0 & \sin \gamma \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \gamma & 0 & \cos \gamma \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a'^{\alpha\&\beta}_x \\ a'^{\alpha\&\beta}_y \\ a'^{\alpha\&\beta}_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a'_x \\ a'_y \\ a'_z \end{bmatrix}$$

$$a'_z = -a'^{\alpha\&\beta}_x \cdot \sin \gamma + a'^{\alpha\&\beta}_z \cdot \cos \gamma =$$

$$= -a'^{\alpha}_x \cdot \sin \gamma + (a'^{\alpha}_z \cdot \cos \beta - a'_y \cdot \sin \beta) \cdot \cos \gamma =$$

$$= -(a_x \cdot \cos \alpha + a_z \cdot \sin \alpha) \cdot \sin \gamma + \left((-a_x \cdot \sin \alpha + a_z \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \beta - a_y \cdot \sin \beta \right) \cdot \cos \gamma$$

Maksimalna vrednost dobija se kao nula izvoda funkcije a'_x po promenljivoj γ :

$$\frac{da'_z}{d\gamma} = -(a_x \cdot \cos \alpha + a_z \cdot \sin \alpha) \cdot \cos \gamma + \left((-a_x \cdot \sin \alpha + a_z \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \beta - a_y \cdot \sin \beta \right) \cdot (-\sin \gamma)$$

$$\frac{da'_z}{d\gamma} = 0$$

$$-(a_x \cdot \cos \alpha + a_z \cdot \sin \alpha) \cdot \cos \gamma + \left((-a_x \cdot \sin \alpha + a_z \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \beta - a_y \cdot \sin \beta \right) \cdot (-\sin \gamma) = 0$$

$$\left((-a_x \cdot \sin \alpha + a_z \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \beta - a_y \cdot \sin \beta \right) \cdot \sin \gamma = -(a_x \cdot \cos \alpha + a_z \cdot \sin \alpha) \cdot \cos \gamma$$

$$\frac{\sin \gamma}{\cos \gamma} = \frac{-(a_x \cdot \cos \alpha + a_z \cdot \sin \alpha)}{(-a_x \cdot \sin \alpha + a_z \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \beta - a_y \cdot \sin \beta}$$

$$\frac{\sin \gamma}{\cos \gamma} = \frac{a_x \cdot \cos \alpha + a_z \cdot \sin \alpha}{(a_x \cdot \sin \alpha - a_z \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \beta + a_y \cdot \sin \beta}$$

$$\tan \gamma = \frac{a_x \cdot \cos \alpha + a_z \cdot \sin \alpha}{(a_x \cdot \sin \alpha - a_z \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \beta + a_y \cdot \sin \beta}$$

$$\gamma = \arctan \frac{a_x \cdot \cos \alpha + a_z \cdot \sin \alpha}{(a_x \cdot \sin \alpha - a_z \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \beta + a_y \cdot \sin \beta}$$

Predlog za korišćenje GPS prijemnika i podatka o trenutnoj brzini je problematičan kada se uzme u obzir tipičan period uzorkovanja GPS prijemnika od 1 sekunde. Kako bi pouzdano identifikovali kočenje na osnovu GPS promene brzine potrebno nam je barem nekoliko perioda GPS uzorkovanja, što znači konstantno kočenje u trajanju od nekoliko sekundi, a takva kočenja su relativno retka.

Realniji pristup je korišćenje orijentacionog senzora na mobilnom uređaju koji uvek ide u paru sa akceleracionim senzorom. Ovaj orijentacioni senzor je magnetnog tipa (magnetni kompas) i nedovoljno je precizan za kompletno određivanje orijentacije mobilnog uređaja (svih osa), ali se može iskoristiti za određivanje ugla reorijentacije treće ose akceleracionog senzora.

Uz poznate uglove α , β i γ moguće je formirati matricu M . Kako bi svaki ulazni podatak sa akceleracionog senzora reorijentisali u pravilno orijentisan koordinatni sistem

(Z osa u pravcu kretanja, Y osa u pravcu sile gravitacije i X osa u levo) ovaj ulazni vektor treba pomnožiti sa inverznom matricom matrice M.

$$M = \begin{bmatrix} -\sin \alpha \cos \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & -\sin \alpha \sin \beta & \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma \\ & -\sin \beta \sin \gamma & \cos \beta & \sin \beta \cos \gamma \\ -\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma & -\cos \alpha \sin \beta & \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma \end{bmatrix}$$

$\det M$

$$\begin{aligned} &= (-\sin \alpha \cos \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma) \begin{vmatrix} \cos \beta & \sin \beta \cos \gamma \\ -\cos \alpha \sin \beta & \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma \end{vmatrix} \\ &- (-\sin \alpha \sin \beta) \begin{vmatrix} -\sin \beta \sin \gamma & \sin \beta \cos \gamma \\ -\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma & \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma \end{vmatrix} \\ &+ (\sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma) \begin{vmatrix} -\sin \beta \sin \gamma & \cos \beta \\ -\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma & -\cos \alpha \sin \beta \end{vmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \det M &= (-\sin \alpha \cos \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma)(\cos \beta (\cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma) \\ &\quad + \cos \alpha \sin \beta \sin \beta \cos \gamma) \\ &\quad + \sin \alpha \sin \beta (-\sin \beta \sin \gamma (\cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma) \\ &\quad - \sin \beta \cos \gamma (-\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma)) \\ &\quad + (\sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma)(\sin \beta \sin \gamma \cos \alpha \sin \beta \\ &\quad + \cos \beta (\sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \det M &= (-\sin \alpha \cos \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma)(\cos \alpha \cos^2 \beta \cos \gamma - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma \\ &\quad + \cos \alpha \sin^2 \beta \cos \gamma) \\ &\quad + \sin \alpha \sin \beta (-\cos \alpha \sin \beta \cos \beta \sin \gamma \cos \gamma + \sin \alpha \sin \beta \sin^2 \gamma \\ &\quad + \sin \alpha \sin \beta \cos^2 \gamma + \cos \alpha \sin \beta \cos \beta \sin \gamma \cos \gamma) \\ &\quad + (\sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma)(\cos \alpha \sin^2 \beta \sin \gamma + \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma \\ &\quad + \cos \alpha \cos^2 \beta \sin \gamma) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \det M &= -\sin \alpha \cos \alpha \cos^3 \beta \sin \gamma \cos \gamma + \sin^2 \alpha \cos^2 \beta \sin^2 \gamma \\ &\quad - \sin \alpha \cos \alpha \sin^2 \beta \cos \beta \sin \gamma \cos \gamma + \cos^2 \alpha \cos^2 \beta \cos^2 \gamma \\ &\quad - \sin \alpha \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma \cos \gamma + \cos^2 \alpha \sin^2 \beta \cos^2 \gamma \\ &\quad - \sin \alpha \cos \alpha \sin^2 \beta \cos \beta \sin \gamma \cos \gamma + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta \sin^2 \gamma \\ &\quad + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta \cos^2 \gamma + \sin \alpha \cos \alpha \sin^2 \beta \cos \beta \sin \gamma \cos \gamma \\ &\quad + \sin \alpha \cos \alpha \sin^2 \beta \cos \beta \sin \gamma \cos \gamma + \sin^2 \alpha \cos^2 \beta \cos^2 \gamma \\ &\quad + \sin \alpha \cos \alpha \cos^3 \beta \sin \gamma \cos \gamma \\ &\quad + \cos^2 \alpha \sin^2 \beta \sin^2 \gamma + \sin \alpha \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma \cos \gamma + \cos^2 \alpha \cos^2 \beta \sin^2 \gamma \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \det M &= \sin^2 \alpha \cos^2 \beta \sin^2 \gamma + \cos^2 \alpha \cos^2 \beta \cos^2 \gamma + \cos^2 \alpha \sin^2 \beta \cos^2 \gamma \\
 &\quad + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta \sin^2 \gamma + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta \cos^2 \gamma + \sin^2 \alpha \cos^2 \beta \cos^2 \gamma \\
 &\quad + \cos^2 \alpha \sin^2 \beta \sin^2 \gamma + \cos^2 \alpha \cos^2 \beta \sin^2 \gamma \\
 &= \sin^2 \alpha \cos^2 \beta (\sin^2 \gamma + \cos^2 \gamma) + \sin^2 \alpha \sin^2 \beta (\sin^2 \gamma + \cos^2 \gamma) \\
 &\quad + \cos^2 \alpha \cos^2 \beta (\sin^2 \gamma + \cos^2 \gamma) + \cos^2 \alpha \sin^2 \beta (\sin^2 \gamma + \cos^2 \gamma) \\
 &= \sin^2 \alpha (\cos^2 \beta + \sin^2 \beta) + \cos^2 \alpha (\cos^2 \beta + \sin^2 \beta) = \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

$$M^T =$$

$$\begin{bmatrix}
 -\sin \alpha \cos \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & -\sin \beta \sin \gamma & -\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma \\
 -\sin \alpha \sin \beta & \cos \beta & -\cos \alpha \sin \beta \\
 \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma & \sin \beta \cos \gamma & \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma
 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
 M_{11} &= \begin{vmatrix} \cos \beta & -\cos \alpha \sin \beta \\ \sin \beta \cos \gamma & \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma \end{vmatrix} \\
 &= \cos \beta (\cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma) + \sin \beta \cos \gamma \cos \alpha \sin \beta \\
 &= \cos \alpha \cos^2 \beta \cos \gamma - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma + \cos \alpha \sin^2 \beta \cos \gamma = \\
 &= \cos \alpha \cos \gamma (\cos^2 \beta + \sin^2 \beta) - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma \\
 &= \cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{12} &= \begin{vmatrix} -\sin \alpha \sin \beta & -\cos \alpha \sin \beta \\ \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma & \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma \end{vmatrix} \\
 &= -\sin \alpha \sin \beta (\cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma) \\
 &\quad + \cos \alpha \sin \beta (\sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma) \\
 &= -\sin \alpha \cos \alpha \sin \beta \cos \beta \cos \gamma \\
 &\quad + \sin^2 \alpha \sin \beta \sin \gamma + \sin \alpha \cos \alpha \sin \beta \cos \beta \cos \gamma \\
 &\quad + \cos^2 \alpha \sin \beta \sin \gamma = \sin \beta \sin \gamma (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) = \sin \beta \sin \gamma
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{13} &= \begin{vmatrix} -\sin \alpha \sin \beta & \cos \beta \\ \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma & \sin \beta \cos \gamma \end{vmatrix} \\
 &= -\sin \alpha \sin \beta \sin \beta \cos \gamma - \cos \beta (\sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma) \\
 &= -\sin \alpha \sin^2 \beta \cos \gamma - \sin \alpha \cos^2 \beta \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma \\
 &= -\sin \alpha \cos \gamma (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) \\
 &\quad - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma = -\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{21} &= \begin{vmatrix} -\sin \beta \sin \gamma & -\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma \\ \sin \beta \cos \gamma & \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma \end{vmatrix} \\
 &= (-\sin \beta \sin \gamma) (\cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma) \\
 &\quad - \sin \beta \cos \gamma (-\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma) \\
 &= -\cos \alpha \sin \beta \cos \beta \sin \gamma \cos \gamma + \sin \alpha \sin \beta \sin^2 \gamma + \sin \alpha \sin \beta \cos^2 \gamma \\
 &\quad + \cos \alpha \sin \beta \cos \beta \sin \gamma \cos \gamma = \sin \alpha \sin \beta (\sin^2 \gamma + \cos^2 \gamma) \\
 &= \sin \alpha \sin \beta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{22} &= \begin{vmatrix} -\sin \alpha \cos \beta \sin \gamma + \cos \alpha \cos \gamma & -\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma \\ \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma & \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma \end{vmatrix} \\
 &= (\cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma) (\cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma) \\
 &\quad - (\sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma) (-\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma) \\
 &= \cos^2 \alpha \cos \beta \cos^2 \gamma - \sin \alpha \cos \alpha \sin \gamma \cos \gamma \\
 &\quad - \sin \alpha \cos \alpha \cos^2 \beta \sin \gamma \cos \gamma \\
 &\quad + \sin^2 \alpha \cos \beta \sin^2 \gamma + \sin^2 \alpha \cos \beta \cos^2 \gamma + \sin \alpha \cos \alpha \sin \gamma \cos \gamma \\
 &\quad + \sin \alpha \cos \alpha \cos^2 \beta \sin \gamma \cos \gamma + \cos^2 \alpha \cos \beta \cos^2 \gamma \\
 &= \cos^2 \alpha \cos \beta + \sin^2 \alpha \cos \beta = \cos \beta (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) = \cos \beta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{23} &= \begin{vmatrix} \cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma & -\sin \beta \sin \gamma \\ \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma & \sin \beta \cos \gamma \end{vmatrix} \\
 &= (\cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma) \sin \beta \cos \gamma \\
 &\quad + \sin \beta \sin \gamma (\sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \sin \gamma) \\
 &= \cos \alpha \sin \beta \cos^2 \gamma \\
 &\quad - \sin \alpha \sin \beta \cos \beta \sin \gamma \cos \gamma + \sin \alpha \sin \beta \cos \beta \sin \gamma \cos \gamma \\
 &\quad + \cos \alpha \sin \beta \sin^2 \gamma = \cos \alpha \sin \beta (\cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma) = \cos \alpha \sin \beta
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{31} &= \begin{vmatrix} -\sin \beta \sin \gamma & -\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma \\ \cos \beta & -\cos \alpha \sin \beta \end{vmatrix} \\
 &= \sin \beta \sin \gamma \cos \alpha \sin \beta + \cos \beta (\sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma) \\
 &= \cos \alpha \sin^2 \beta \sin \gamma + \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma + \cos \alpha \cos^2 \beta \sin \gamma \\
 &= \cos \alpha \sin \gamma (\sin^2 \beta + \cos^2 \beta) + \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma \\
 &= \cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{32} &= \begin{vmatrix} \cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma & -\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma \\ -\sin \alpha \sin \beta & -\cos \alpha \sin \beta \end{vmatrix} \\
 &= -\cos \alpha \sin \beta (\cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma) \\
 &\quad - \sin \alpha \sin \beta (\sin \alpha \cos \gamma + \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma) \\
 &= -\cos^2 \alpha \sin \beta \cos \gamma \\
 &\quad + \sin \alpha \cos \alpha \sin \beta \cos \beta \sin \gamma \\
 &\quad - \sin^2 \alpha \sin \beta \cos \gamma - \sin \alpha \cos \alpha \sin \beta \cos \beta \sin \gamma \\
 &= -\sin \beta \cos \gamma (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) = -\sin \beta \cos \gamma
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{33} &= \begin{vmatrix} \cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma & -\sin \beta \sin \gamma \\ -\sin \alpha \sin \beta & \cos \beta \end{vmatrix} \\
 &= \cos \beta (\cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma) - \sin \alpha \sin \beta \sin \beta \sin \gamma \\
 &= \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \cos^2 \beta \sin \gamma - \sin \alpha \sin^2 \beta \sin \gamma \\
 &= \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma (\cos^2 \beta + \sin^2 \beta) \\
 &= \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma
 \end{aligned}$$

Pošto je determinanta matrice M jednaka 1, njena inverzna matrica jednaka je adjungovanoj matrici matrice M koja se formira od izračunatih minora M_{ij} ($i,j=1,2,3$).

$$M^{-1} = \frac{1}{\det M} \text{adj}M$$

$$M^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \gamma - \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma & \sin \beta \sin \gamma & -\sin \alpha \cos \gamma - \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma \\ \sin \alpha \sin \beta & \cos \beta & \cos \alpha \sin \beta \\ \cos \alpha \sin \gamma + \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma & -\sin \beta \cos \gamma & \cos \alpha \cos \beta \cos \gamma - \sin \alpha \sin \gamma \end{bmatrix}$$

Na osnovu izmerenih ubrzanja, procenjuju se uglovi α , β i γ :

$$\alpha = \arctan \frac{a_x}{a_z}$$

$$\beta = \arccos a_y$$

$$\gamma = \arctan \frac{a_x \cdot \cos \alpha + a_z \cdot \sin \alpha}{\cos \beta (a_x \cdot \sin \alpha - a_z \cdot \cos \alpha) + a_y \cdot \sin \beta}$$

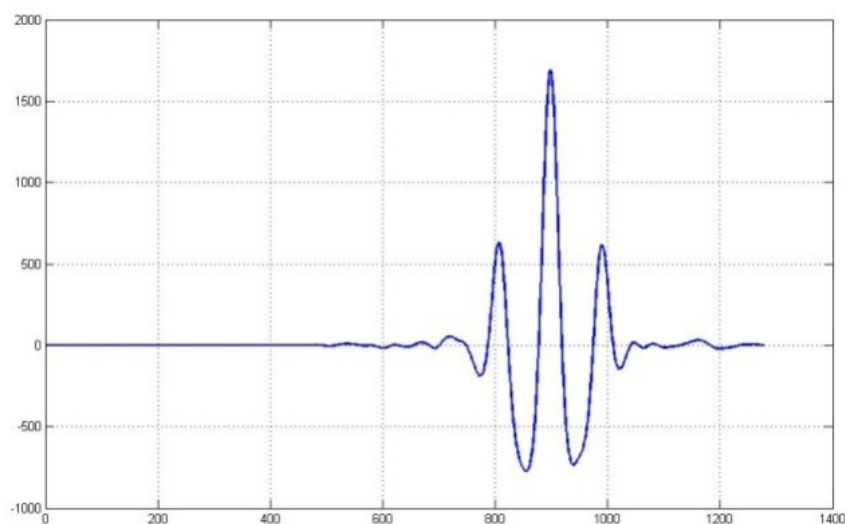
Zatim se određuje matrica M^{-1} , kojom se množi ulazni vektor, a kao rezultat se dobija vektor u pravilno orijentisanom koordinatnom sistemu.

$$\begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} = M^{-1} \cdot \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}$$

4.5.2 Efikasna korelacija sa uzorcima saobraćajnih manevara

Implementaciono posmatrano, realizacija standardnih klasifikatora iz poglavlja 4.4 je elementarna. J48 stablo odlučivanja se implementira po formiranju modela u WEKA alatu kao niz grananja i izvršava se veoma brzo kada je model već formiran na osnovu trening skupa. KNN algoritam najbližih suseda se svodi na računanje euklidskog rastojanja u N-dimenzionom prostoru izabranog skupa karakteristika, nešto je kompleksniji, ali i dalje ne predstavlja značajno opterećenje procesora mobilnog uređaja. Kod korelacije je proces dosta složeniji, naročito kada se uzme u obzir mnogo manji pomeraj prozora, odnosno da se izračunavanje korelacije obavlja mnogo češće. U skladu sa tim je izvršena procena vrednosti koje daje implementirani modul za računanje korelacije sa uzorcima relevantnih saobraćajnih događaja (manevara). Reprezentativni uzorci su dobijeni usrednjavanjem vrednosti svih uzoraka za svaku od snimljenih instanci svakog manevara ponaosob.

Kako bi se dobila referentna vrednost (baseline) sa kojom će se porediti sračunate vrednosti korelacije po osama za realne podatke prvo je sračunata autokorelacija uzorka sa realnim podacima iz kojih je uzorak generisan. Kao reprezentativan primer je iskorišćen manevar naglog izbegavanja prepreke. Rezultat autokorelacije je prikazan na slici 4.30.



Slika 4.30 Autokorelacija podataka sa X-ose za uzorak manevara izbegavanja prepreke koja se koristi kao referentna

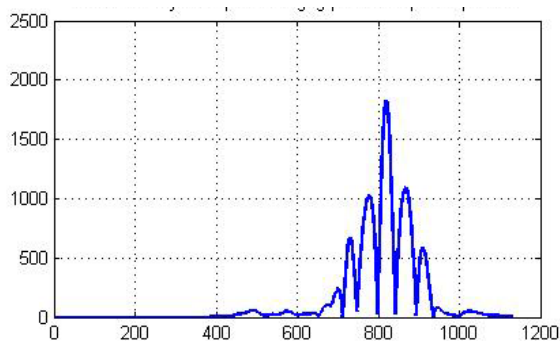
Rezultati korelacije se ne mogu interpretirati nezavisno za svaku od osa akceleracionog senzora. Dok se izrazita korelacija podataka sa nekim uzorkom po jednoj

osi može protumačiti kao indikacija da se taj saobraćajni događaj desio, odsustvo korelacije po drugim osama predstavlja indikaciju lažne pozitivne identifikacije. U primerima signala po sve tri ose akceleracionog senzora koji su dati na početku poglavlja 4 se može uočiti da se pojedinačne karakteristike (oblici signala) po nekoj od osa mogu prepoznati po toj istoj osi izolovano i u drugim karakterističnim manevrima. Tako na primer naglo kočenje (karakterističan oblik po Z-osi) se može uočiti praktično pri svim naglim promenama pravca. Nagla promena usmerenja prednjih točkova izaziva povećanje trenja i to kočenje. Takođe, nailazak na udarnu rupu (tipično samo jednom stranom vozila) i prelazak preko široke uzdužne prepreke kao što je pružni prelaz uzrokuju pojavu vibracija viših frekvencija po jednoj ili dve ose (udarne rupe tipično izazivaju i lateralno ljuljane celog vozila, dok pružni prelaz samo vertikalne vibracije). Ovaj efekat neophodnosti korelacije sve tri ose istovremeno je uočen u svim radovima koji se bave detekcijom kvaliteta i oštećenja kolovoza (Eriksson, Girod et al., 2008).

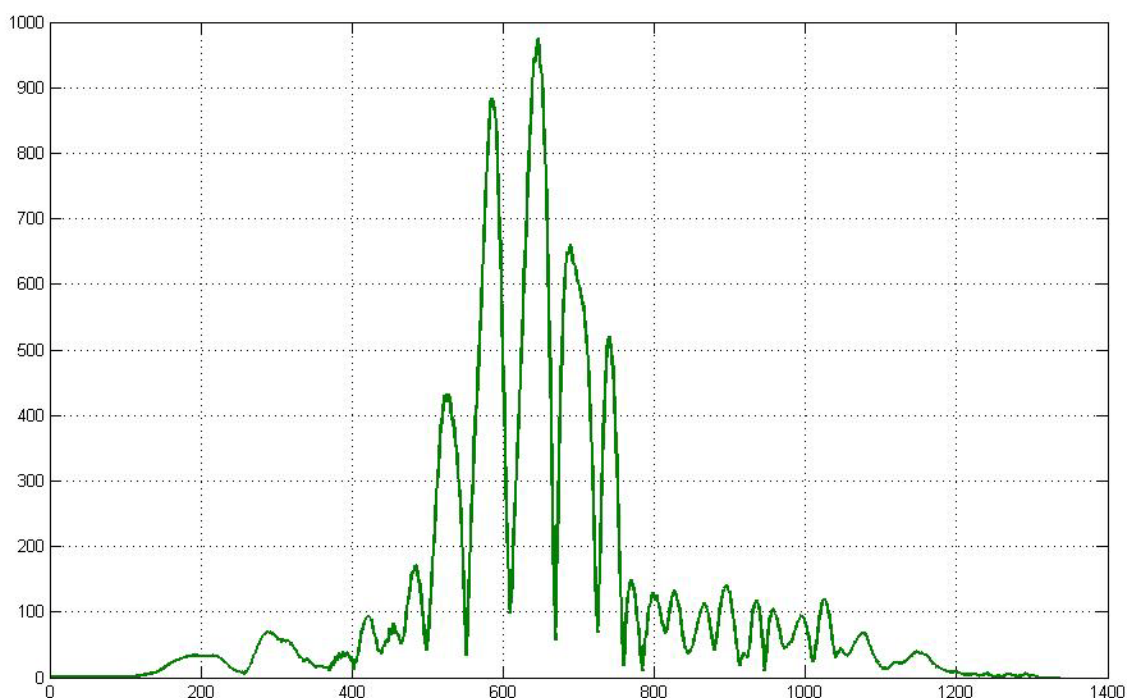
Uzimajući u obzir ovaj efekat, vrednost kumulativne kroskorelacije (CCR) se može jednostavno izračunati kao:

$$CCR = \sqrt{CR_x^2 + CR_y^2 + CR_z^2}$$

Sam process kroskorelacije se ponavlja za svaku od osa akcelerometra pojedinačno (CR_x , CR_y i CR_z) i CCR računa kao kvadratna srednja vrednost. Dodatna prednost ovakvog pristupa je da uzima u obzir i simetrične manevre. Tako na primer, računanjem kroskorelacije samo sa jednim uzorkom za manevar izbegavanja prepreke u levu stranu i računanjem CCR vrednosti uspešno će biti identifikovani kako manevri izbegavanja prepreke u levu, tako i u desnu stranu. Identičan slučaj se javlja kod manevra nagle promene saobraćajne trake u levo i u desno. Ovaj efekat je prikazan na slici 4.31. Na slici 4.31a su prikazane vrednosti CCR za različite pomeraje prozora sa podacima za prepoznavanje manevra izbegavanje prepreke u levu stranu u realnom manevru u istu stranu. Maksimalna vrednost CCR se približava vrednosti 2000 što je jako bližu referentne vrednosti sa slike 4.30. Prepoznavanje manevra izbegavanje prepreke u levo u realnom manevru u desno demonstrira znatno nižu maksimalnu vrednost od nešto preko 1000, ali i dalje sa jasno izraženim maksimumom.



a)

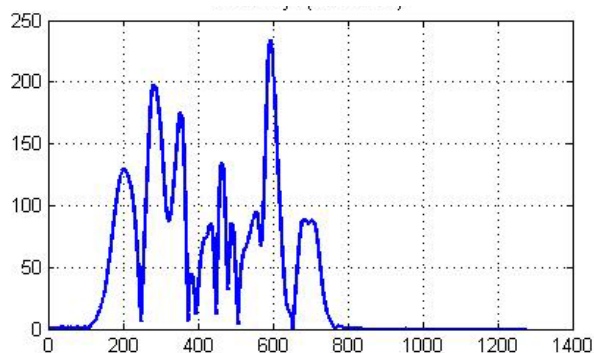


b)

Slika 4.31 Detekcija “simetričnih” manevara kumulativnom kroskorelacijom

Simetričan uticaj potpuno različitih manevara kao što su naglo kočenje i naglo ubrzavanje na istu (Z) osu akcelerationog senzora može biti negativan efekat. Međutim, obzirom da se radi o vrlo velikim razlikama apsolutnih vrednosti sila koje deluju tokom ova dva manevara (tipično kočenje ima za efekat sile nešto veće od 0.5G dok ubrzanja nisu ni blizu tih vrednosti) efekat simetričnosti prilikom računanja CCR nije izražen i ne izaziva lažnu identifikaciju naglog ubrzanja i naglog kočenja.

Sa druge strane, potrebno je proveriti vrednosti CCR prilikom pokušaja prepoznavanja različitih tipova manevara. Na primer, pokušaj prepoznavanja manevara naglog kočenja u manevru izbegavanja prepreke daje vrednosti CCR prikazane na slici 4.32.



Slika 4.32 Vrednosti CCR prilikom korelacije različitih manevara

Bitno pitanje prilikom ovakvog principa računanja korelacije uzorka i protočnog prozora sa realnim podacima je razlika u brzini kojom se vozilo trenutno kreće i brzine pri kojoj je uzorak snimljen. Uticaj ove razlike u brzinama se manifestuje kako na intenzitet sile koje deluju na vozilo (pa i akceleracioni senzor), tako i na trajanje samog događaja (manevara). Elementaran način umanjavanja ovog uticaja se ogleda u linearnom skaliranju ukoliko pretpostavimo linearnu zavisnost ovog uticaja u opsegu brzina koje su tipične za drumski saobraćaj, a na kojima se dešavaju ovi manevri. Iako su lateralne sile koje se javljaju prilikom saobraćajnih manevara centrifugalnog tipa, a ova sila zavisi od kvadrata brzine, u opsegu realnih brzina na kojima se ovi manevri dešavaju moguće je zavisnost intenziteta sile koje deluju na vozilo tokom manevara modelirati linearno bez značajnijeg gubitka na preciznosti. Tako modifikovani intenzitet sile u uzorku se računa po izrazu:

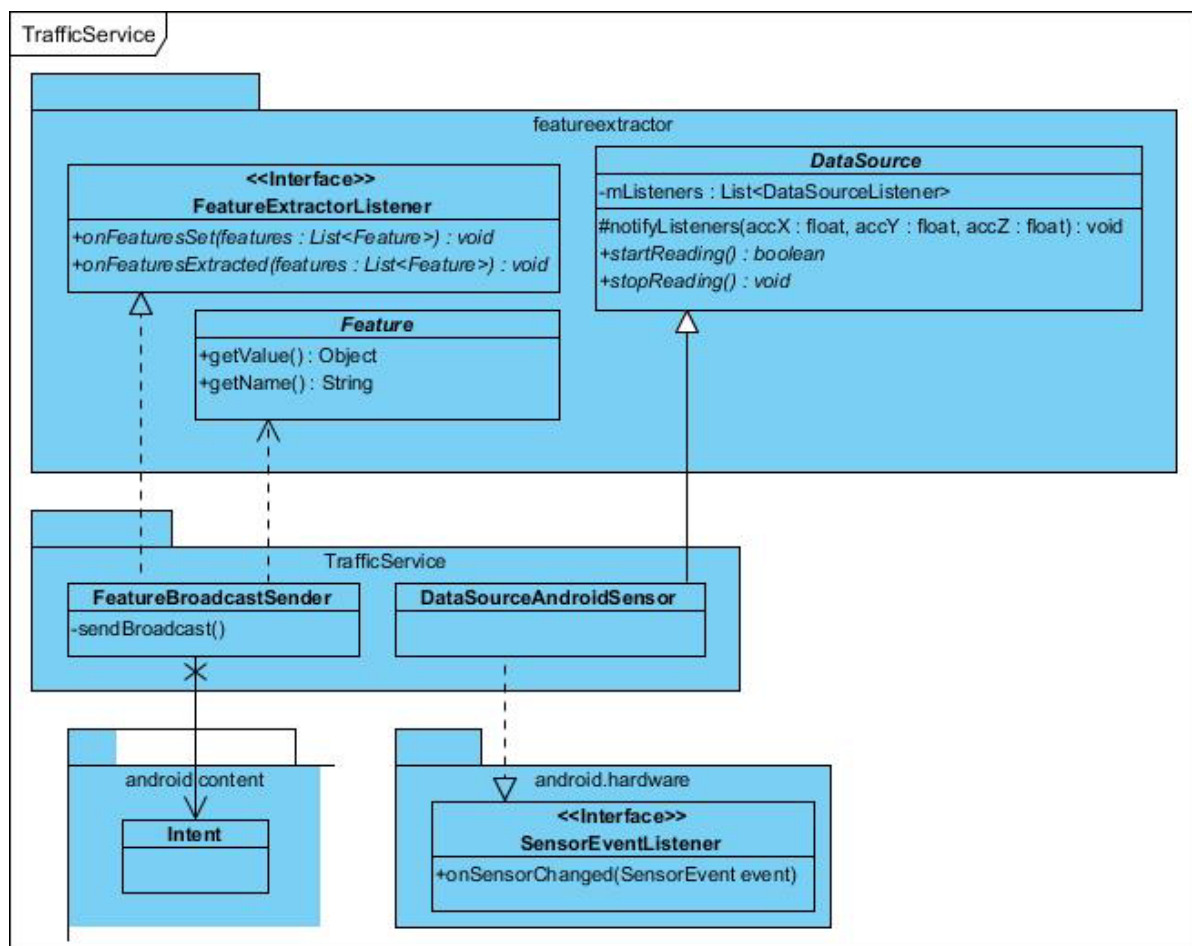
$$I_{sc} = I_s \cdot K \cdot \left(1 + \frac{V_c - V_s}{V_c}\right)$$

gde je I_{sc} korigovana vrednost intenziteta u uzorku, I_s je originalna, nekorigovana, vrednost intenziteta u uzorku, K je faktor koji modelira razlike nastale zbog linearizacije, V_c je trenutna brzina vozila (brzina pri kojoj se radi detekcija) i V_s je brzina pri kojoj je uzorak snimljen (tipično 40km/h)

U zavisnosti od razlike u brzini uzorak manevara sa kojim se radi je potrebno povećati/smanjiti po vremenskoj osi i korelaciju raditi sa interpoliranim vrednostima. Eksperimentalni rezultati su dati u poglavlju 6.

4.6 Android aplikacija/servis za analizu podataka sa akcelerometra

U praktičnoj implementaciji je kao komponenta koja obavlja analizu podataka sa akceleracionog senzora i detekciju relevantnih saobraćajnih događaja implementiran Android servis. Iskorišćena je *FeatureExtractor* biblioteka detaljno objašnjena u poglavlju 4.4. Implementirane su posebne klase koje predstavljaju veze ka Android mehanizmima prikupljanja podataka sa akceleracionog senzora, prihvataju izlaz iz modula za detekciju saobraćajnih događaja i o tome obaveštavaju ostale delove Android aplikacije, a takođe i te podatke šalju centralnom serveru. UML dijagram ovih klasa koje predstavljaju svojevrsni interfejs između biblioteke za rad sa karakteristikama podataka sa akceleracionog senzora i Android aplikacije je dat na slici 4.33.

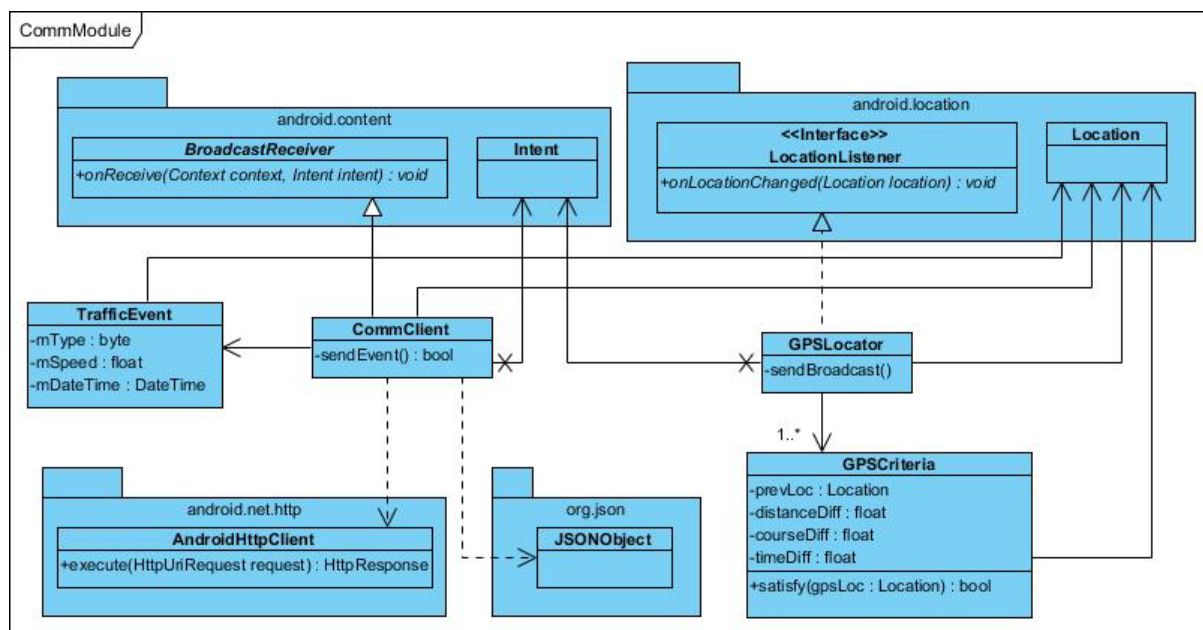


Slika 4.33 Veze *FeatureExtractor* biblioteke i Android aplikacije

Konkretno, vezu biblioteke za analizu ka hardverskom akceleracionom senzoru predstavlja klasa *DataSourceAndroidSensor*. Ova klasa nasleđuje apstraktnu klasu *DataSource*. Android mehanizam povezivanja sa hardverom senzora koristi pomoću klasu *SensorManager* koja sadrži konstante i pomoćne funkcije za rad sa različitim

tipovima senzora integrisanim u samom uređaju. Sam process preuzimanja podataka sa akceleracionog senzora je realizovan implementacijom listener interfejsa *SensorEventListener*, konkretno callback metode *onSensorChanged(SensorEvent event)*. *SensorEvent* klasa je generička klasa koja sadrži podatke sa bilo kog senzora. Osim tipa senzora sa koga su prikupljeni podaci, procenjene preciznosti ova klasa sarži niz *float* vrednosti, što su zapravo podaci pročitani sa senzora. Konkretna dužina ovog niza, kao i interpretacija vrednosti u nizu zavise od tipa senzora. Konkretno, u slučaju akceleracionog senzora niz je dužine 3 i sadrži ubrzanja u m/s^2 duž X, Y i Z ose akcelometra. Klasa *DataSourceAndroidSensor* nasleđuje listu listener-a (*DataSourceListener*) što praktično predstavlja vezu ka klasama koje obavljaju analizu podataka i detekciju događaja preko protočnog bafera i *FeatureExtractor* klase. Ovaj mehanizam analize je detaljno objašnjen u poglavlju 4.4.

Izlaz iz *FeatureExtractor* biblioteke prihvataju komponente Android aplikacije koje podatke o detektovanim događajima šalju centralnom saobraćajnom informacionom servisu i UI widget komponente koje rade vizuelizaciju prikupljenih i analiziranih podataka. Kako bi se minimizirale međuzavisnosti delova sistema koje se izvršavaju na mobilnom uređaju preuzimanje podataka sa senzora, njihovu analizu i detekciju saobraćajnih događaja implementira Android servis koji je nezavistan od GUI delova mobilne aplikacije, radi u pozadini i može se nezavisno aktivirati i deaktivirati. Maksimalna nezavisnost prilikom komunikacije same GUI mobilne aplikacije i ovog servisa je postignuta korišćenjem Android *broadcast* mehanizma. Interfejs *FeatureExtractorListener* iz paketa *featureextractor* u servisu implementira klasa *FeatureBroadcastSender*. Samo računanje korelacije sa predefinisanim uzorcima je enkapsulirano u novoj klasi nasleđenoj iz *Feature* klase. Klase vezane za kroskorelaciju i rad sa uzorcima saobraćajnih manevara su detaljnije objašnjeni u nastavku ovog poglavlja. *FeatureBroadcastSender* kreira *Intent* u čiji se *Extras* deo pakuje *Feature* (konkretnije, podklasu *Feature-a*) i ovaj event emituje svim zainteresovanim komponentama. Po detekciji saobraćajnog događaja (manevra) zadatak servisa je da to obaveštenje pošalje do centralnog saobraćajnog informacionog servisa. Zato je jedan broadcast receiver deo servisa. UML dijagram klasa ovog dela servisa je prikazan na slici 4.34.



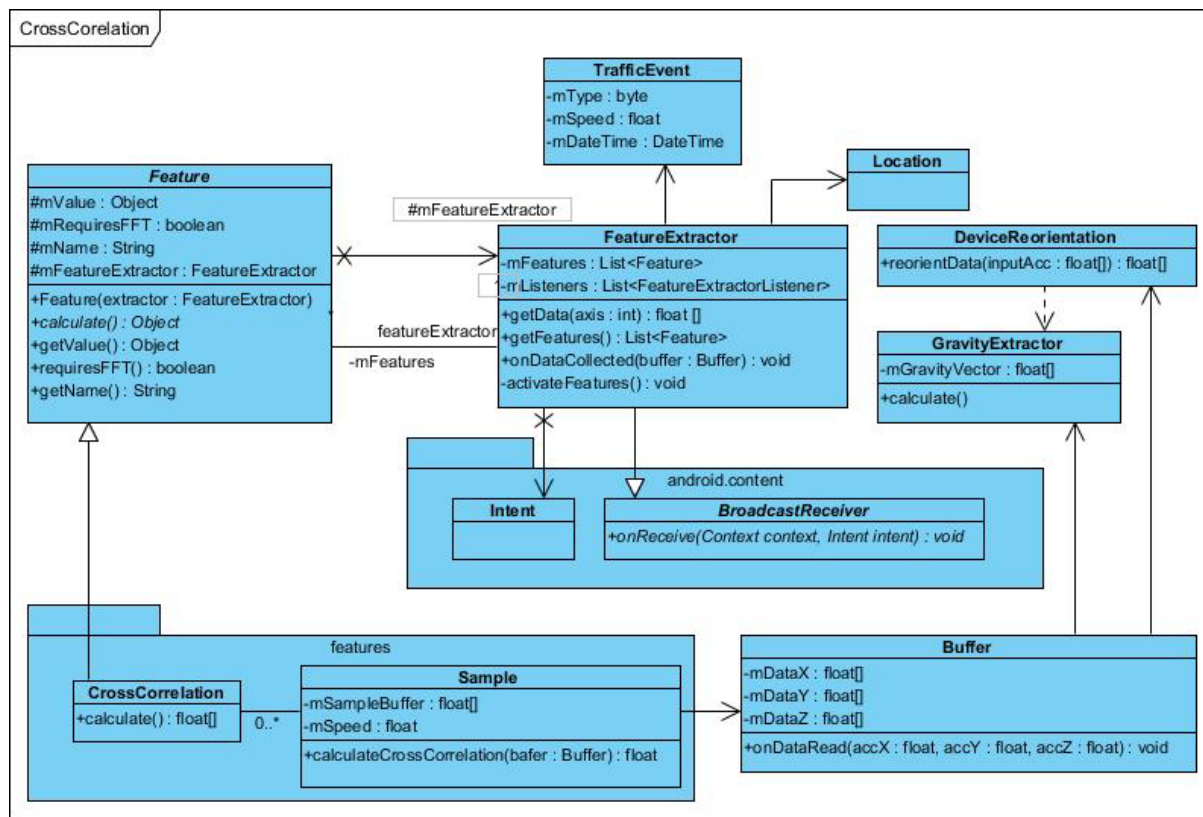
Slika 4.34 Komponente Android servisa za komunikaciju sa centralnim saobraćajnim informacionim servisom i komponente za rad sa GPS prijemnikom

Centralna klasa komunikacionog modula je *CommClient*. Ova klasa komunicira sa bibliotekom za analizu i detekciju saobraćajnih događaja indirektno, korišćenjem *broadcast* mehanizma. Iz tog razloga nasleđuje klasu *BroadcastReceiver* i implementira metodu *onReceive(Context context, Intent intent)*. Ovo je *callback* metoda koja u parametrima ima *Intent* koji je poslat od strane klase *FeatureBroadcastSender*. U *Extras* delu ovog intent-a je zapakovana klasa *TrafficEvent*. Ova klasa enkapsulira sve relevantne podatke o saobraćajnom događaju: tip događaja, brzinu pri kojoj je događaj detektovan, datum i vreme detekcije, kao i lokaciju na kojoj je događaj detektovan. Sama komunikacija je implementirana korišćenjem HTTP protokola pri čemu su podaci kodirani korišćenjem JSON formata. JSON format nudi većinu prednosti struktuiranosti podataka kao i XML, ali je znatno kompaktniji. To je osnovni razlog zašto se ovaj format danas najčešće koristi za servise koji komuniciraju sa mobilnim uređajima korišćenjem paketnog prenosa podataka preko mreže mobilnog operatera. Android ima potpunu podršku za rad sa JSON formatom podataka kroz paket *org.json* i klasu *JSONObject*. HTTP komunikacija prilagođena mobilnim uređajima i mobilnim mrežama takođe postoji u Android sistemu u paketu *android.net.http* i klasi *AndroidHttpClient*. Iako Android podržava i standardni Java paket za rad sa mrežnim protokolima *java.net* preporučeno je korišćenje klase *AndroidHttpClient* zato što ova klasa ima prilagođene sve parametre (timeout i sl.) okruženju bežične mreže mobilnog operatera.

Na slici 4.34 su prikazane i klase koje predstavljaju vezu servisa sa GPS prijemnikom integrisanim u mobilnom uređaju. Centralna implementirana klasa je *GPSLocator*. Kao i u slučaju povezivanja sa akceleracionim senzorom, Android vezu sa GPS prijemnikom implementira preko odgovarajućeg listener interfejsa *LocationListener*. Klasa *GPSLocator* implementira ovaj interfejs i callback metodu *onLocationChanged(Location location)*. Argument ove callback metode, klasa *Location*, sadrži podatke o vremenu određivanja lokacije, preciznosti, koordinatama, brzini i pravcu kretanja. Ova *callback* metoda se poziva svaki put kada GPS prijemnik izračuna novu poziciju. Tipično, to je na svaku sekundu. Lokacija se u mobilnom servisu koristi u dve svrhe. Povezuje se sa detektovanim saobraćajnim događajem, pa se osim identifikacije tipa događaja centralnom saobraćajnom informacionom servisu šalju i podaci o lokaciji na kojoj je događaj detektovan, kao i vremenu kada je događaj detektovan. Ovaj deo se odnosi na XFCD deo implementiranog sistema. Takođe, u implementiranom saobraćajnom informacionom servisu (koji će detaljnije biti opisan u poglavlju 5) su implementirani i FCD koncepti tako da se svaka sračunata lokacija sa pridruženom trenutnom brzinom šalje centralnom saobraćajnom informacionom servisu u svrhu održavanja težina pridruženih segmentima putne mreže.

Obzirom da je interval od jedne sekunde u kome se periodično pribavlja lokacija sa GPS prijemnika previše kratak ne šalje se svaka lokacija preuzeta sa GPS prijemnika već samo one lokacije koje zadovoljavaju definisane uslove. Ovi uslovi slanja su implementirani kroz klasu *GPSCriteria*. Uslov slanja lokacije je kompleksan i zavisi od: vremena proteklog od poslednje poslate lokacije, razdaljine pređene od poslednje poslate lokacije i razlike u pravcu kretanja u odnosu na poslednju lokaciju. Obzirom da veći broj komponenti mobilnog servisa koristi informacije sa GPS prijemnika komunikacija između svih ovih komponenti je implementirana takođe korišćenjem broadcast mehanizma. Podatke sa GPS prijemnika koristi klasa *CommClient*, ali i modul za analizu podataka sa akceleracionog senzora. Na početku poglavlja 4.5 je naglašen dinamički karakter modula za analizu podataka sa akceleracionog senzora u smislu da se različite komponente za analizu dinamički aktiviraju. Tako je rečeno da se komponente za kroskorelaciju i frekventnu analizu, kao procesorski intenzivne komponente, aktiviraju na osnovu prvog (aktivacionog) dela protočnog bafera i izračunate vrednosti standardne devijacije koja se računa sve vreme. Konačno, klasa *GPSLocator* je broadcast sender, dok su broadcast receiver-i za ovaj tip broadcast-a klase *CommClient* i *FeatureExtractor*.

Sam process analize podataka sa akceleracionog senzora i detekcije saobraćajnih događaja (manevara) kroskorelacijom je implementiran proširenjem biblioteke *FeatureExtractor*. UML dijagram relevantnih klasa kojim je proširena *FeatureExtractor* biblioteka je prikazan na slici 4.35.



Slika 4.35 Proširenje biblioteke *FeatureExtractor* klasama za računanje kroskorelacije i rad sa uzorcima

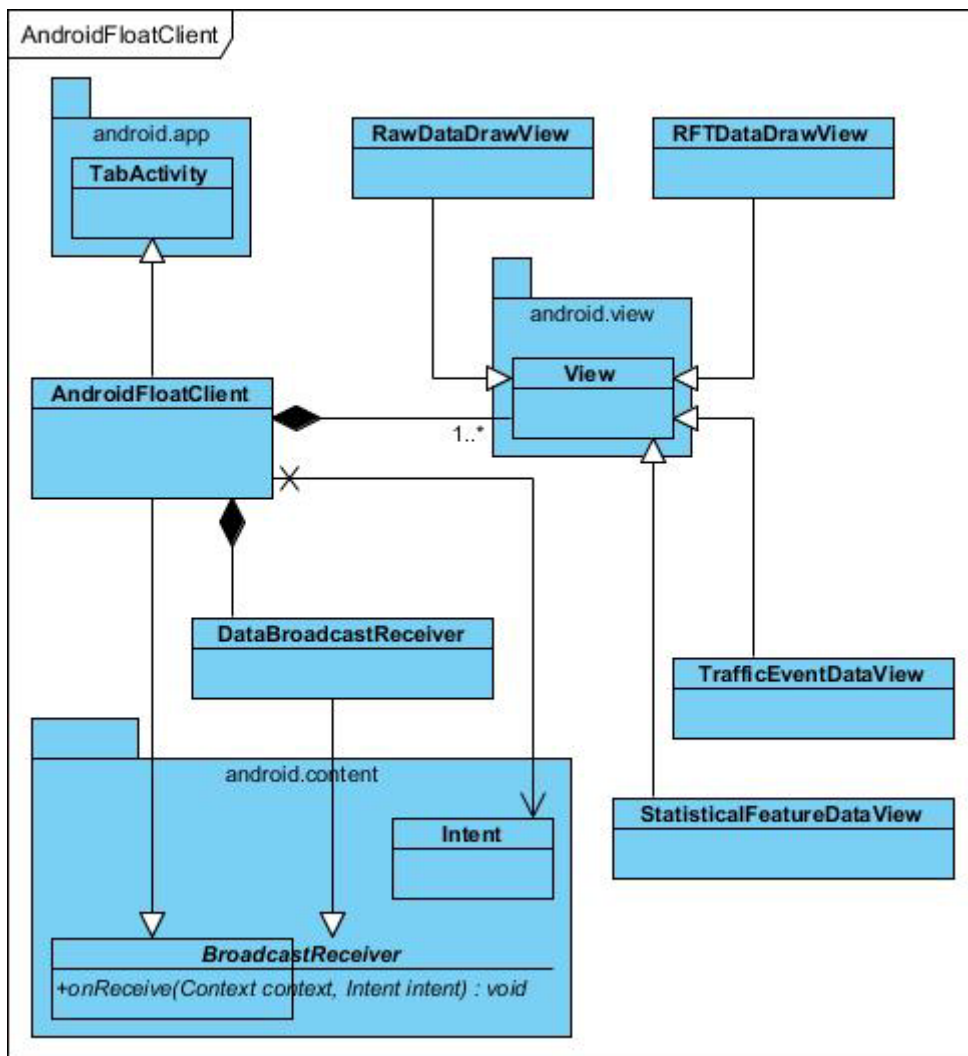
Faza preprocesiranja kroz dva koraka: ekstrakciju vektora gravitacije i reorijentaciju ulaznih podataka u skladu sa određenom orijentacijom uređaja je implementirana kroz klase *GravityExtractor* i *DeviceReorientation*. Zadatak klase *GravityExtractor* je da filtrom propusnikom niskih frekvencija iz ulaznih podataka eliminiše jednosmerne komponente, odnosno eliminiše uticaj gravitacije, istovremeno rekonstruišući vektor gravitacije koji će biti iskorišćen za reorijentaciju ulaznih podataka u koordinatni sistem poravnat sa vozilom. Klasa *DeviceReorientation* koristi ekstrahovani vektor gravitacije kako bi modifikovala svaki triplet ubrzanja koji se čita sa akceleracionog senzora i repozicionirala ga u poravnom koordinatnom sistemu. Faza preprocesiranja se obavlja nad svakim dolaznim tripletom pre nego što se ti podaci snime u protočni bafer. Klasa *FeatureExtractor* je modifikovana tako da nasleđuje *BroadcastReceiver* kako bi prihvatila sve *Location* objekte emitovane od strane klase *GPSLocator* preko broadcast

mehanizma. Iz *Location* objekta koristi informaciju o trenutnoj brzini. U kombinaciji sa vrednošću standardne devijacije iz klase *StandardDeviation*, koja je jedna od podklasa *Feature*, brzina čini uslov za aktivaciju *Feature*-a koji imaju smisla da se izvršavaju samo dok se vozilo kreće i samo dok postoje sile znatnog intenziteta koje deluju na vozilo. Ova aktivacija se prvenstveno odnosi na *Feature*-e koji se računaju u frekventnom domenu i klasu *CrossCorrelation*.

Klasa *CrossCorrelation* računa kroskorelaciju podataka koji prolaze kroz protočni bafer sa uzorcima formiranim za svaki od relevantnih saobraćajnih manevara. Ova klasa nasleđuje *Feature* i može se smatrati da je kroskorelacija sa uzorcima praktično još jedna od karakteristika podataka iz bafera i kao takva predstavlja samo još jedan od ulaza u neki od klasifikatora koji su analizirani na kraju poglavlja 4.4. Značaj kroskorelacije kao jednog od parametara klasifikatora je detaljnije analiziran u poglavlju 6. Uzorci sa snimljenim karakteristikama relevantnih saobraćajnih manevara su enkapsulirani u klasi *Sample*. Prilikom inicijalizacije klase *CrossCorrelation* za svaku datoteku sa podacima za uzorak se instancira po jedan objekat klase *Sample* i dodaje u listu registrovanih uzoraka u klasi *CrossCorrelation*. Bitno je napomenuti da se za svaki uzorak u atributu *mSpeed* pamti brzina pri kojoj je uzorak snimljen. Na osnovu razlike ove i trenutne brzine se radi skaliranje podataka u baferu uzorka i interpolacija po vremenu prilikom računanja kroskorelacije.

Klasa *FeatureExtractor* implementira klasifikator i po uspešnoj detekciji saobraćajnog manevara priprema *Intent*, u *Extras* dodaje informaciju o tipu detektovanog manevara i emituje tako formiran broadcast. Mehanizmom *IntentFilter*-a druge komponente mobilnog klijenta se obaveštavaju o detektovanom događaju. U *Extras* deo emitovanog *Intent*-a se pakuje kreirana instance klase *TrafficEvent* sa svim relevantnim podacima o detektovanom saobraćajnom događaju. U okviru mobilnog servisa ovaj broadcast prihvata klasa *CommClient*. U svrhu testiranja implementirana je i GUI mobilna aplikacija sa jednom Android aktivnosti koja vizuelizira podatke prikupljene direktno sa akceleracionog senzora, rezultate analize u vremenskom i frekventnom domenu i, konačno, tip detektovanog saobraćajnog događaja. Radi efikasnije vizuelizacije velikog broja različitih tipova podataka sa tekstualnom i grafičkom reprezentacijom glavna aktivnost *AndroidFloatClient* je izvedena iz *TabActivity* klase i organizovana po stranicama. UML dijagram klasa koje čine mobilnu aplikaciju za vizuelizaciju rezultata i testiranje je prikazan na slici 4.36. Glavna aktivnost *AndroidFloatClient* sadrži *DataBroadcastReceiver*

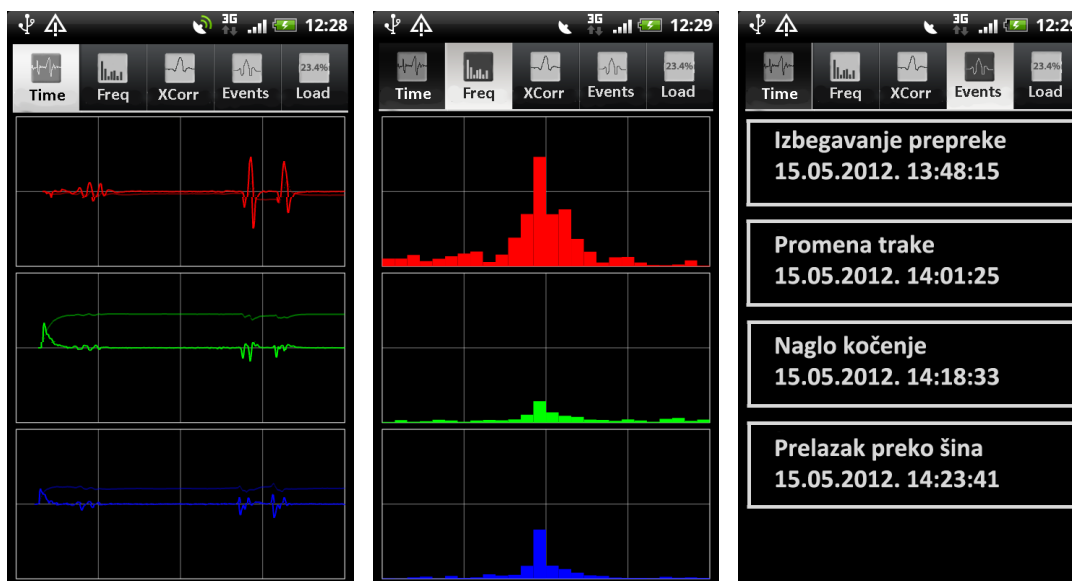
preko koga prikuplja sve broadcast-e i podatke iz modula za analizu, ekstrakciju karakteristika, kao iz klasifikatora (*FeatureExtractor* klase).



Slika 4.36 Klase koje čine mobilnu aplikaciju za vizuelizaciju rezultata analize i detekcije

Svaka stranica (tab) u korisničkom interfejsu sadrži jednu podklasu Android klase *View*. Svaka od podklasa je specijalizovana za grafičku ili tekstualnu vizuelizaciju sirovih podataka sa akceleracionog senzora prikazanih u vremenskom domenu (podklasa *RawDataDrawView*), karakteristike podataka u vremenskom domenu (podklasa *RFTDataDrawView*), numeričke vrednosti statističkih karakteristika (podklasa *StatisticalFeatureDataDrawView*) i hronološku listu detektovanih saobraćajnih događaja (podklasa *TrafficEventDataView*). Primer korisničkog interfejsa mobilne aplikacije za testiranje i vizuelizaciju rezultata je prikazan na slici 4.37. Na ovoj slici su prikazane stranica (tab-ovi) sa grafičkim prikazom sirovih podataka sa akceleracionog senzora u vremenskom domenu i stranica sa grafičkim prikazom frekventne karakteristike podataka

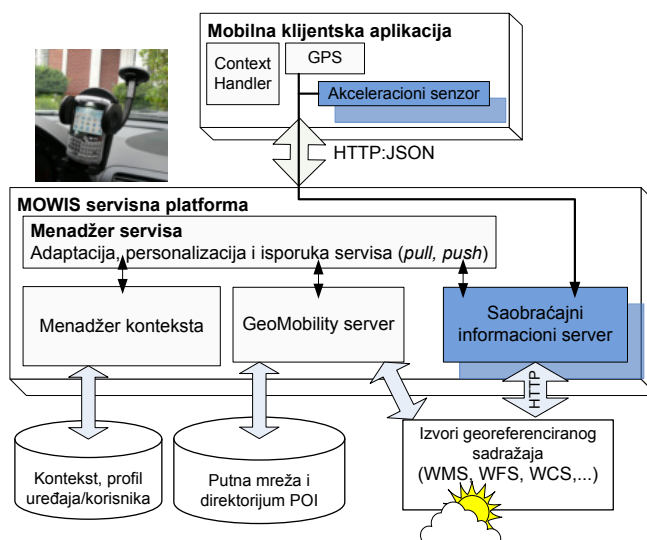
kako pristižu sa senzora. Na stranici sa prikazom sirovih podataka je prikazan i rezultat preprocesiranja pri čemu su jednosmerne komponente za svaku od osa (uticaj gravitacije) prikazane tamnijom bojom na svakom od grafika.



Slika 4.37 Korisnički interfejs mobilne aplikacije za vizuelizaciju i testiranje

5 Proaktivni saobraćajni informacioni servis

Svrha celokupnog procesa detekcije relevantnih saobraćajnih događaja je distribucija ovih informacija ostalim učesnicima u saobraćaju koji koriste proaktivni saobraćajni informacioni servis za navigaciju tokom vožnje. Posmatrano iz korisničkog ugla, proaktivni saobraćajni informacioni servis je vrsta kontekstno-svesnog sistema u specifičnom domenu saobraćaja. Danas masovno korišćeni sistemi za navigaciju koriste neke elemente konteksta korisnika u saobraćaju. Tu se prvenstveno misli na doba dana i saobraćajne propise koji važe na segmentu putne mreže po kome se korisnik kreće. Na taj način se vizuelizacija podataka može prilagoditi svetlosnim uslovima / dobu dana kroz automatsko podešavanje dnevne/noćne palete boja ili se korisniku može krupno prikazati saobraćajni znak ograničenja koje važi na tom delu puta. U pitanju su sve statičke komponente konteksta. Očigledno je da je najvažnija komponenta konteksta korisnika, vozača učesnika u saobraćaju, stanje u saobraćaju u neposrednoj okolini tog vozača, što je dinamička komponenta konteksta. Princip participatornog opažanja koji je tema ove disertacije je samo jedan od metoda prikupljanja informacija o stanju u saobraćaju i nikako nije zamišljen kao zamena tradicionalnih izvora podataka. Konceptualna arhitektura kontekstno svesne platforme za praćenje mobilnih objekata u saobraćaju sa ulogom proaktivnog saobraćajnog informacionog servisa sa participatornim opažanjem je prikazana na slici 5.1.



Slika 5.1 Konceptualna uloga kolaborativnog opažanja u proaktivnom saobraćajnom informacionom servisu

Detalji o široj MOWIS platformi su dati u radu (Stojanovic, Roganovic et al., 2010).

5.1 Proaktivna isporuka saobraćajnih informacija

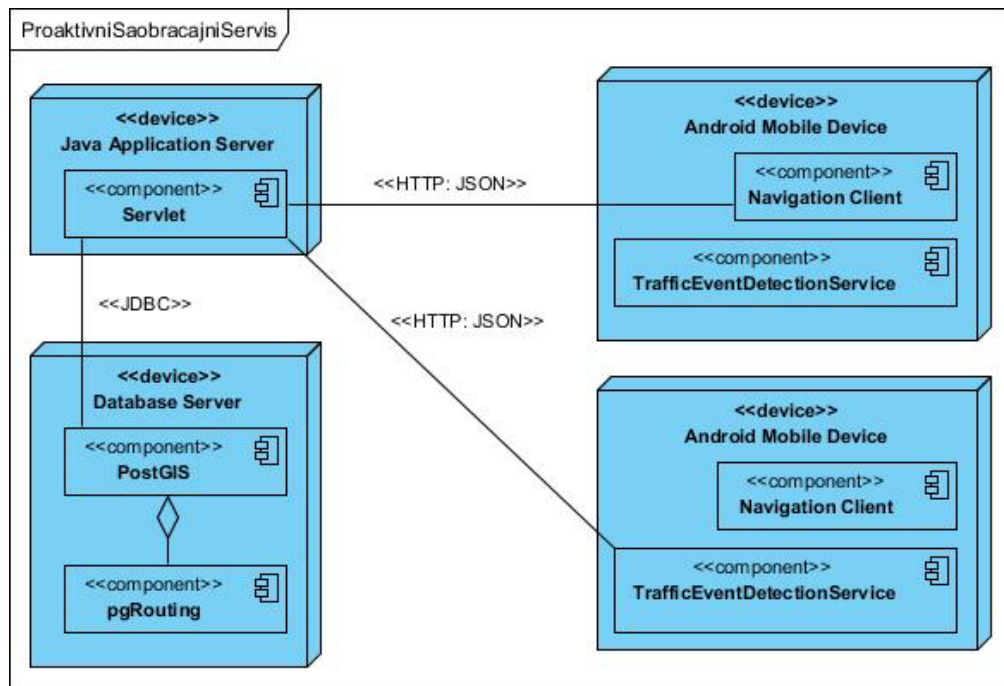
Za svakog korisnika proaktivnog saobraćajnog informacionog servisa je poznata ruta navigacije koju je korisnik zahtevao od tačke A do tačke B na putnoj mreži. Ovim su identifikovane sve informacije o stanju u saobraćaju kao i o saobraćajnim događajima kao relevantne ukoliko se nalaze na nekom od segmenata putne mreže koji čine rutu korisnika. Samo saobraćajni događaji koji su na ovaj način identifikovani kao relevantni se vizueliziraju na klijentskoj aplikaciji. Pojavljivanje novog saobraćajnog događaja na ruti može izazvati rerutiranje na optimalniju rutu ili prikaz upozorenja vozaču. Dodatne funkcionalnosti koje su omogućene dostupnošću ažurnih dinamičkih informacija o stanju u saobraćaju se mogu podeliti u četiri grupe:

- Dinamičko kreiranje rute na zahtev korisnika na osnovu trenutnog stanja u saobraćaju
- Audio/vizuelna upozorenja o relevantnim saobraćajnim događajima koji su detektovani ispred vozila na korisnikovoj ruti za navigaciju
- Ponuda dinamičkog rerutiranja u slučaju drastičnih promena stanja u saobraćaju na trenutno aktivnoj ruti korisnika
- Dinamička vizuelizacija segmenata putne mreže koji čine rutu u zavisnosti od stanja u saobraćaju na tim segmentima

Proaktivni saobraćajni informacioni servis je projektovan kao distribuirani sistem. Postoje dve klijentske komponente: *NavigationClient* i *TrafficEventDetectionService*. Klijentske komponente se isporučuju na korisničke mobilne Android uređaje. Ove dve klijentske komponente su nezavisne i ne moraju obe biti instalirane na svim korisničkim mobilnim uređajima. *TrafficEventDetectionService* je servis koji implementira mobilni senzorski čvor čija je uloga alternativni izvor podataka o saobraćaju. *NavigationClient* je korisnička GUI mobilna aplikacija koja vozaču omogućava pristup funkcionalnostima proaktivnog saobraćajnog informacionog servisa.

Centralna serverska komponenta je implementirana korišćenjem Java servlet tehnologije. Univerzalnosti radi komunikacija sa klijentima je implementirana korišćenjem HTTP protokola uz upotrebu jednostavnog JSON formata za razmenu podataka. Obzirom da je *TrafficEventDetectionService* samo jedan od mogućih izvora podataka o saobraćaju,

korišćen je HTTP protocol kao najčešće korišćen protocol od strane ostalih, danas standardizovanih, izvora saobraćajnih podataka. Dijagram razmeštaja (deployment dijagram) komponenti sistema je prikazan na slici 5.2.

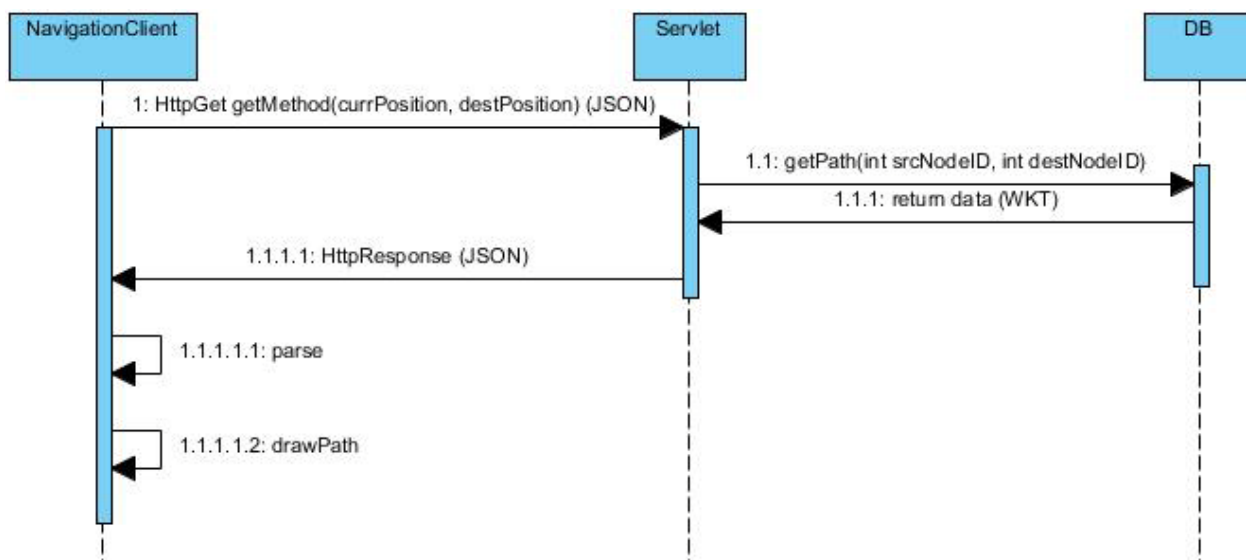


Slika 5.2 Raspored komponenti proaktivnog saobraćajnog informacionog servisa

Sloj geoprostornih podataka je implementiran korišćenjem *PostGIS* prostorne baze podataka. Za funkcionalnosti rutiranja po putnoj mreži je kao osnova iskorišćen *pgRouting* dodatak *PostGIS* bazi. Ovaj *PostGIS* dodatak svoju funkcionalnost bazira na statičkim podacima o težinama pojedinih potega putne mreže. Kako bi uzeo u razmatranje dinamičko stanje u saobraćaju *pgRouting* je proširen izmenom strukture tabela koje sadrže graf putne mreže i dodavanjem trigera za ažuriranje težina potega putne mreže na osnovu prikupljenih podataka od mobilnih senzorskih čvorova. Komunikacija između servleta i prostorne baze podataka sa *pgRouting* dodatkom je implementirana standardnim JDBC mehanizmom pri čemu se prostorni podaci kodiraju WKT (Well-known Text) formatom.

Osnovna funkcionalnost proaktivnog saobraćajnog informacionog servisa je rutiranje korisnika po putnoj mreži od tačke do tačke korišćenjem dinamičkih podataka o stanju u saobraćaju i saobraćajnim događajima na putnoj mreži. Za svakog korisnika se vezuje generisana ruta i tokom navigacije po toj ruti prate se promene ovih dinamičkih parametara saobraćaja za sve segmente koji čine rutu. Prilikom dolaska klijenta na neki čvor rute klijentska mobilna aplikacija odgovarajućem servletu isporučuje sumarne podatke o stanju u saobraćaju za segment sa koga upravo izlazi i pri tome kao odgovor

dobija potencijalno novu rutu (ukoliko se stanje u saobraćaju na trenutnoj ruti dovoljno promenilo) i nove detektovane relevantne saobraćajne događaje na trenutno aktivnoj ruti. Klijentska aplikacija je implementirana kao Android aktivnost. Inicijalna komunikacija između klijenta i servera je prikazana dijagramom sekvence na slici 5.3.



Slika 5.3 Dijagram sekvence inicijalnog zahteva klijenta za rutom

Osnovna klasa mobilne klijentske aplikacije je *NavigationClient*. Glavni zadatak ove klase je vizuelizacija mape, dodeljene rute po kojoj se korisnik kreće, kao i relevantnih saobraćajnih događaja na ruti. Obzirom da je u pitanju Google Android aplikacija, za prikaz pozadinske mape se koristi Google Maps framework, pa *NavigationClient* nasleđuje klasu *MapActivity* iz paketa *android.app.activity*. Ova systemska klasa enkapsulira i sakriva sve detalje preuzimanja segmenata pozadinske mape se Google servera, njihovo keširanje i vizuelizaciju. Geoprostorni podaci koji se tiču saobraćaja (trenutna lokacija, ruta, lokacije detektovanih saobraćajnih događaja) se prikazuju u okviru zasebnih slojeva (overlay-a). U zavisnosti od tipa geometrije koju sadrže ovi dodatni slojevi postoje dva tipa:

1. Slojevi koji prikazuju tačke (lokacije saobraćajnih događaja)
2. Sloj koji prikazuje polilinije (trenutno aktivnu rutu po kojoj korisnik navigira)

Svi slojevi koji prikazuju tačkaste objekte (različite klase saobraćajnih događaja) su implementirani klasom *PointsOverlay*. Rad sa tačkastim tipovima objekata je vrlo čest

slučaj, pa u okviru Android framework-a postoji posebna klasa koja predstavlja osnovu tačkastih tipova overlay-a, *ItemizedOverlay* iz paketa *android.maps*. Klasa *PointsOverlay* nasleđuje sistemsku klasu *ItemizedOverlay*. Inicijalno korisnik dugim klikom na mapu (tap touchscreen akcija) zadaje odredište metodom klase *PointsOverlay*:

```
public boolean onTap(GeoPoint p, MapView mapView)
```

Obzirom da se u sistemu prati više tipova saobraćajnih događaja u mobilnom klijentu (*NavigationClient*) postoji više instanci *PointsOverlay* klase:

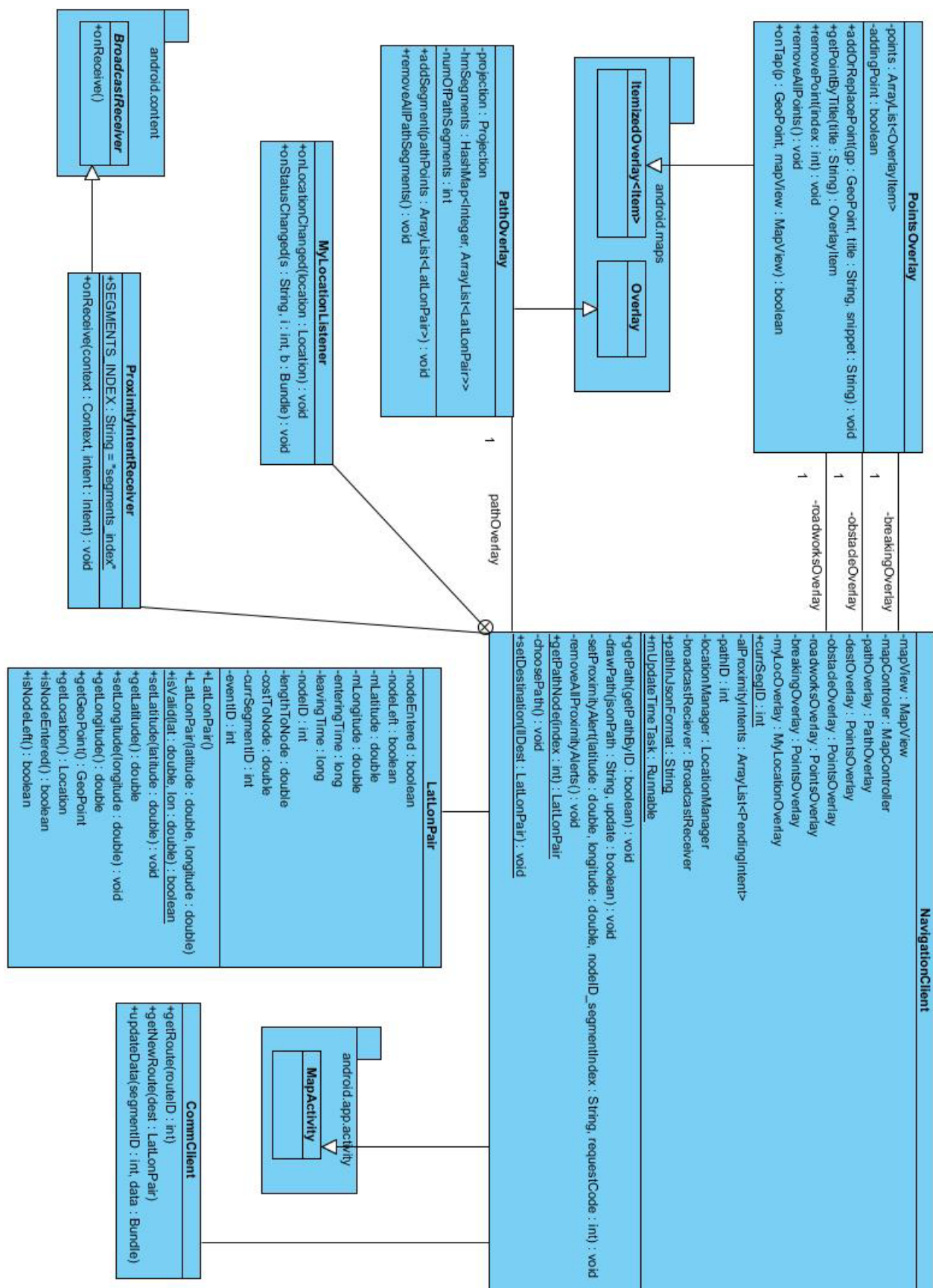
- **private** *PointsOverlay* *destOverlay*;
- **private** *PointsOverlay* *obstacleOverlay*;
- **private** *PointsOverlay* *roadworksOverlay*;
- **private** *PointsOverlay* *breakingOverlay*;

Instanca *destOverlay* sadrži odredište rute i međutačke (via) dok ostale instance sadrže konkretne tipove saobraćajnih događaja. Detaljni dijagram glavnih klasa klijentske mobilne aplikacije je prikazan na slici 5.4.

Osim tačkastih objekata u posebnom overlay-u je potrebno prikazati trenutno aktivnu rutu korisnika za navigaciju. U pitanju je polilinijski objekat za čiju vizuelizaciju kroz specijalizovanu *Overlay* klasu ne postoji posebna podrška u Android framework-u.

Iz tog razloga klasa *PathOverlay* koja vizuelizira trenutno dodeljenu rutu korisniku je izvedena iz generičke klase *Overlay* iz paketa *android.maps* Android framework-a. Svaka navigaciona ruta koja je dodeljena nekom od korisnika sistema ima jedinstven identifikacioni broj. Svi kasniji uzastopni HTTP zahtevi servisu sadrže ovaj jedinstveni identifikator koji praktično predstavlja i identifikator tog korisnika validan samo tokom trajanja navigacije. Sama ruta za navigaciju se sastoji od niza segmenata putne mreže. Svaki segment počinje i završava se čvorom koji predstavlja raskrnicu.

Pri tome segment u opštem slučaju predstavlja poliliniju, pa je predstavljen listom tačaka (*LatLonPair*-a). Za svaki čvor (raskrnicu) na putanji se vezuje *ProximityAlert*. To je Android mehanizam za asinhrono obaveštavanje kada se korisnik nađe u definisanom radijusu oko neke tačke. Android *LocationManager* metodom *setProximityAlert* registruje *ProximityAlert* za svaki čvor (raskrnicu) na ruti. Prilazak nekom od čvorova obrađuje *ProximityIntentReceiver*. Obradom prilaska nekom od čvorova putanje se praktično generišu FCD podaci, odnosno računa se prosečno vreme potrebno za vožnju duž tog segmenta (prosečna brzina).



Slika 5.4 Glavne klase klijentske mobilne aplikacije za navigaciju

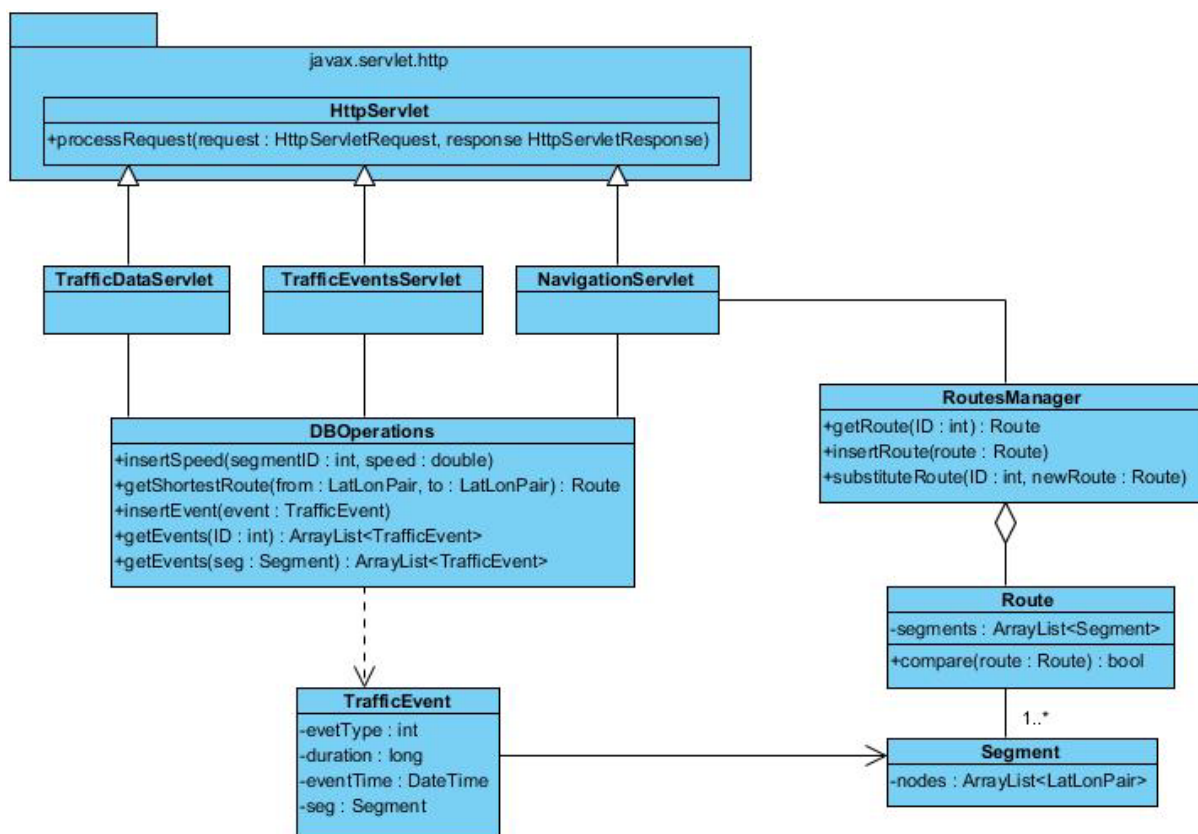
Podatak o prosečnom vremenu se uključuje u zahtev za ažuriranje podataka o saobraćaju koji odgovarajućem servletu na serverskoj strani šalje klasa *CommClient* metodom *updateData()*. HTTP zahtev u metodi *updateData()* može vratiti novu (izmenjenu u skladu sa promenjenim stanjem u saobraćaju) navigacionu rutu u JSON formatu.

Android location API sa koordinatama radi korišćenjem klase *GeoPoint*. Obzirom da se tačke u geografskom prostoru vrlo često koriste u klijentskoj mobilnoj aplikaciji, a sistemski klasa *GeoPoint* nema adekvatne metode za rad sa čvorovima rute i lokacijama saobraćajnih događaja, implementirana je klasa *LatLonPair*. Osim provera validnosti geografskih koordinata ova klasa enkapsulira vremena dolaska i odlaska od čvora.

Osnova serverske strane je Java Servlet tehnologija. Za svaku od funkcionalnosti je implementiran poseban servlet i svi servleti se izvršavaju u Glassfish Java aplikacionom serveru. Servleti koji implementiraju osnovne funkcionalnosti su:

- *NavigationServlet*
- *TrafficDataServlet*
- *TrafficEventsServlet*

Najveći deo logike je implementiran u okviru *PostGIS* prostorne baze i njenog proširenja dodatkom *pgRouting*. To je razlog relativno malog broja klasa kojima je implementirana serverska strana ovog proaktivnog navigacionog servisa. Navedena tri servisa imaju za zadatak parsiranje JSON kodiranih zahteva, poziv odgovarajućih funkcija *pgRouting* dodatka i kodiranje odgovora klijentu ponovo u JSON formatu. Najvažnija klasa, koja predstavlja vezu između implementiranih servleta i *pgRouting* nadogradnje *PostGIS* baze je klasa *DBOperations*. Ova klasa sadrži metode koje mapiraju HTTP zahteve koji stižu servletima u SQL upite kojima se menja sadržaj tabela koje dalje *pgRouting* koristi za izračunavanje optimalnih ruta. Osim ovih klasa na serverskoj strani je potrebno voditi evidenciju o svim rutama koje su trenutno aktivne, odnosno po kojima korisnici još uvek navigiraju i za koje šalju podatke (prosečne brzine po segmentima i detektovane saobraćajne događaje). *RoutesManager* klasa vodi evidenciju o svim aktuelnim rutama i instance ove klase se čuva u aplikacionom kontekstu Java Web aplikacije koja predstavlja proaktivni navigacioni servis. UML dijagram klase koje učestvuju u implementaciji serverske strane sistema je prikazan na slici 5.5.



Slika 5.5 Klase koje implementiraju serversku stranu proaktivnog navigacionog servisa

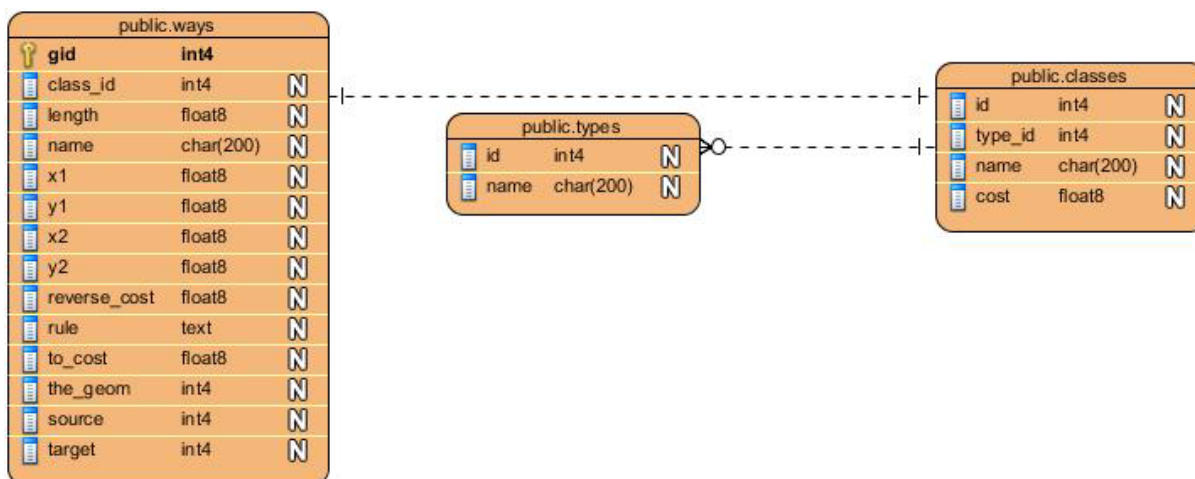
Servlet *NavigationServlet* prihvata sve zahteve od klijenata za inicijalnim rutiranjem. Ova klasa sa rutama radi indirektno koristeći *RoutesManager*. Obzirom da je pitanje privatnosti podataka o kretanju od izuzetne važnosti za svakog korisnika ovakvog sistema klasa *RoutesManager* vodi evidenciju o svim trenutno aktivnim rutama (korisnicima koji trenutno navigiraju po nekoj od ruta koju je sračunao ovaj sistem) pri čemu se nikakva sesija ne održava između dve uzastopne navigacije po različitim rutama jednog istog korisnika. Slučajno generisanim jedinstvenim identifikatorom aktivne rute se vezuje korisnik za rutu i sistem ne može rekonstruisati dugoročnu istoriju kretanja ni za jednog konkretnog korisnika.

Servlet *TrafficEventsServlet* prihvata sve zahteve od korisnika koji se tiču saobraćajnih događaja. Ovaj servlet omogućava dve kategorije funkcionalnosti: prijavu detektovanog saobraćajnog događaja na nekoj lokaciji i preuzimanje lokacija saobraćajnih događaja poznatih u sistemu. Pri preuzimanju poznatih lokacija saobraćajnih događaja moguće je preuzeti sve događaje nekog tipa bez obzira da li su vezani za trenutnu rutu (*ArrayList<TrafficEvent>getEvents(int ID)*) ili je moguće preuzeti sve tipove događaja

koji su vezani za konkretnu rutu kojom se korisnik kreće pri čemu je ruta identifikovana svojim ID-jem (*ArrayList<TrafficEvent> getEvents(Segment seg)*).

Servlet *TrafficDataServlet* implementira konvencionalnu FCD funkcionalnost procene stepena saobraćajne gužve po segmentima putne mreže. Mehanizmom *ProximityListener*-a klijentska mobilna aplikacija po dolasku na krajnji čvor svakog od segmenata navigacione rute računa prosečnu brzinu za taj segment, samim tim je poznato i vreme neophodno za prolazak tim segmentom, i tu informaciju HTTP zahtevom šalje ovom serlvletu. Servlet modifikuje kolonu prosečnih brzina za konkretan segment u tabeli koju *pgRouting* plug-in koristi za rutiranje i ova izmena izaziva preračunavanje težine potega putne mreže trigerom u PostGIS bazi.

Kao što je na slici 5.2 prikazano za sloj baze podataka je iskorišćena *PostgreSQL* relaciona baza podataka sa *PostGIS* prostornim proširenjem i *pgRouting* plug-in dodatkom za rad sa grafom putne mreže. Podaci o putnoj mreži grada Niša su preuzeti sa OpenStreetMap servisa kao besplatni i bez ikakvih ograničenja u korišćenju. Nakon učitavanja OSM podataka o geometrijama segmenata putne mreže kreirane su table koje čine polaznu osnovu za formiranje topologije putne mreže. Ove osnovne tri table su prikazane na slici 5.6.



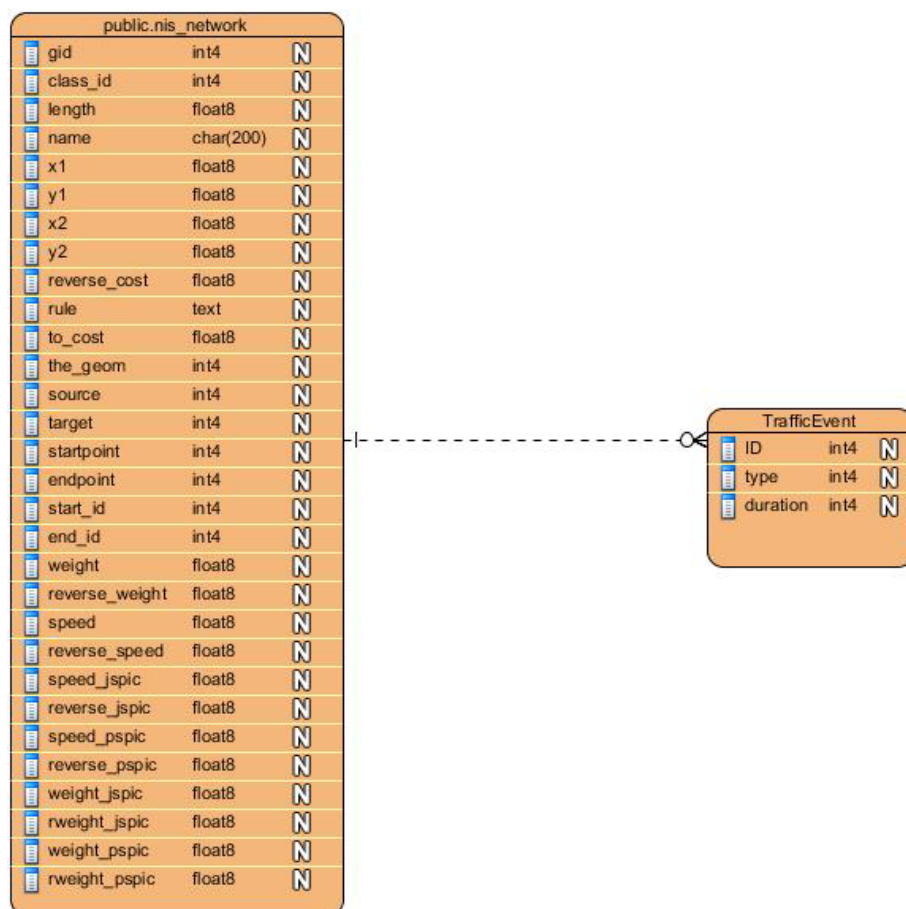
Slika 5.6 Tri osnovne table na osnovu kojih *pgRouting* dodatak formira topologiju putne mreže

Tabela *ways* sadrži geometrije segmenata putne mreže. Bitne kolone su: ID segmenta (*gid*), kategorija segmenta puta (*class_id*), dužina segmenta (*length*), naziv (*name*) i geometrija (*the_geom*). Kolone *source* i *target* se dobijaju postprocesiranjem unetih podataka *pgRouting* funkcijom:

```
assign_vertex_id('<table>', float tolerance, '<geometry column', '<gid>')
```

koja za svaki segment kreira početni i krajnji čvor i povezuje (“snap-uje”) čvorove koji su na manjoj udaljenosti od propisane. Ovako formirana topologija je snimljena u tabelu *nis_network* prikazanu na slici 5.7.

Osnovna *pgRouting* Dijkstrinog algoritma za rutiranje za svaki segment kao parametar rutiranja uzima težinu (kolona *weight*) u direktnom i inverznom smeru (sa i bez prefiksa *reverse_*) kako bi se jednosmerne ulice pravilno uključile u Dijkstrin algoritam. Modifikacija *pgRouting* dodatka se ogleda u dodatnim kolonama koje karakterišu karakteristike saobraćaja kroz prosečne brzine (kolone *speed*) kao nivo zagušenja i vezu sa tabelom *TrafficEvent* koja sadrži sve prijavljene saobraćajne događaje. Sve karakteristike saobraćaja se dele u tri vremenska perioda: jutarnji i popodnevni špic i period van špiceva. Zato postoje posebne kolone sa sufiksima *_jspic* i *_pspic* kao i kolone bez ovih sufiksa. Kombinacijom svih pomenutih kolona trigerima se izračunava konačna težina potega kada god dođe do neke promene u prosečnoj brzini ili broju prijavljenih događaja za poteg i ovako sračunatu konačnu težinu koristi *pgRouting* za rutiranje Dijkstrinim algoritmom.



Slika 5.7 Konačna tabela koju *pgRouting* dodatak koristi prilikom rutiranja

Primer trigera koji ažurira konačnu težinu segmenta putne mreže na osnovu trenutnog vremena, prosečne brzine i broja i tipa prijavljenih događaja je dat u nastavku:

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION upweight ()
  RETURNS trigger AS
$BODY$
DECLARE
  sat numeric(15,2);
  klasa numeric(15,2);
  dog numeric(15,2);
  klasa CURSOR FOR SELECT cost FROM classes WHERE id=NEW.class_id;
  vreme_i interval;
  sati integer;
  minuti integer;
  sekunde bigint;
BEGIN
  OPEN klasa;
  FETCH FIRST FROM klasa INTO klasa;
  --ako je doslo do prijave azuriraju se sve tezine
  IF (OLD.event_duration <> NEW.event_duration) THEN
    NEW.duration_jspic=(NEW.length/NEW.speed_jspic+NEW.event_duration)*klasa;
    NEW.rweight_jspic=(NEW.reverse_cost/NEW.reverse_jspic+NEW.event_duration)*klasa;
    NEW.weight_pspic=(NEW.length/NEW.speed_pspic+NEW.event_duration)*klasa;
    NEW.rweight_pspic=(NEW.reverse_cost/NEW.reverse_pspic+NEW.event_duration)*klasa;
    NEW.weight=(NEW.length/NEW.speed+NEW.event_duration)*klasa;
    NEW.reverse_weight=(NEW.reverse_cost/NEW.reverse_speed+NEW.event_duration)*klasa;
  END IF;

  IF NEW.vreme_dog IS NOT NULL THEN
    vreme_i = NEW.vreme_dog - localtime::interval;
    sati = extract(hour from vreme_i);
    minuti = extract(minute from vreme_i);
    sekunde = round(extract(second from vreme_i));
    sekunde = sati * 3600 + minuti * 60 + sekunde;
    IF(sekunde < 0) THEN
      NEW.event_duration = 0;
      NEW.br_prijava=0;
    ELSEIF (NEW.br_prijava>0) THEN
      NEW.event_duration = sekunde;
    END IF;
  END IF;

  --u zavisnosti od trenutnog doba dana, azurira se odgovarajuca brzina

  sat = (extract(hour from current_time));
  IF klasa IS NOT NULL THEN
    IF ((sat > 6) AND (sat < 9)) THEN
      IF (NEW.speed_jspic <> OLD.speed_jspic) THEN
        NEW.weight_jspic=(NEW.length/NEW.speed_jspic+NEW.event_duration)*klasa;
        ELSIF (NEW.reverse_jspic <> OLD.reverse_jspic) THEN
          NEW.rweight_jspic=(NEW.reverse_cost/NEW.reverse_jspic+NEW.event_duration)*klasa;
        END IF;
      ELSEIF ((sat > 13) AND (sat < 16)) THEN
        IF (NEW.speed_pspic <> OLD.speed_pspic) THEN
          NEW.weight_pspic=(NEW.length/NEW.speed_pspic+NEW.event_duration)*klasa;
          ELSIF (NEW.reverse_pspic <> OLD.reverse_pspic) THEN
            NEW.rweight_pspic=(NEW.reverse_cost/NEW.reverse_pspic+NEW.event_duration)*klasa;
          END IF;
        ELSE
          IF (NEW.speed <> OLD.speed) THEN
            NEW.weight=(NEW.length/NEW.speed+NEW.event_duration)*klasa;
            ELSIF (NEW.reverse_speed <> OLD.reverse_speed) THEN
              NEW.reverse_weight=(NEW.reverse_cost/NEW.reverse_speed+NEW.event_duration)*klasa;
            END IF;
          END IF;
        END IF;
      CLOSE klasa;
      RETURN NEW;
    END;

```

```

$BODY$
LANGUAGE plpgsql VOLATILE
COST 100;
ALTER FUNCTION upweight()
OWNER TO "GinisFloat";
    
```

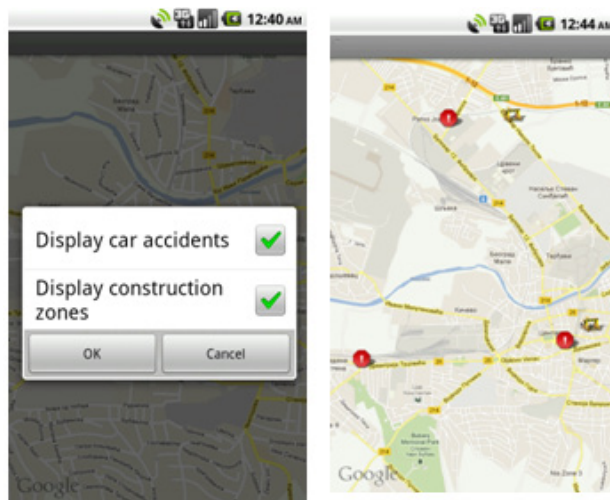
Konačno, tipičan slučaj upotrebe je ilustrovan u nastavku.

Na slici 5.8a je prikazan izgled menija klijentske mobilne aplikacije. Pritiskom na prvu stavku menija započinjemo traženje rute tako što ciljnu tačku biramo pritiskom (tap akcijom) na mapu. Kada izaberemo lokaciju na mapi, na izabranoj lokaciji se pojavljuje zeleni marker (slika 5.8b). Sledeći korak je izabrati stavku menija *Get Path*, i dobija se rezultat prikazan na slici 5.8c.



Slika 5.8 Inicijalno zahtevanje rute

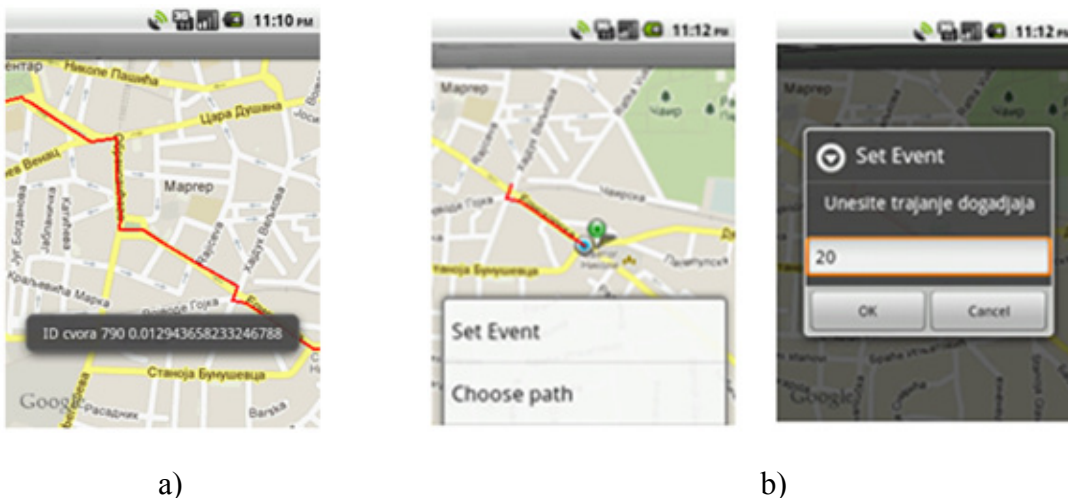
Kao poseban sloj iznad mape je moguće prikazati i sve događaje zdatog tipa bez obzira da li se nalaze na dodeljenoj ruti za navigaciju ili ne. Ova funkcionalnost se aktivira stavkom menija *Show Events*. Zatim korisnik može da izabere sve tipove događaja koje želi da vidi na mapi i konačno se ti događaji dodaju kao poseban *PointsOverlay* sloj iznad mape. Ovo je prikazano na slici 5.9.



Slika 5.9 Prikaz svih saobraćajnih događaja određenog tipa koji su registrovani u sistemu (prijavljeni od strane korisnika)

U demonstraciji scenarija su korišćena dva emulatora pri čemu je prikaz ekrana emulatora na kome korisnik obavlja navigaciju po zadatoj ruti na narednim slikama označen sufiksom “a”, a prikaz ekrana drugog emulatora na kome korisnik prijavljuje saobraćajni događaj označen sa “b”. Saobraćajni događaj koji drugi korisnik prijavljuje nalazi se na ruti prvog korisnika i po tipu je takav da modifikujući težine segmenata rute izaziva rerutiranje.

Prvi korisnik navigira po dodeljenoj ruti i prilikom svakog dolaska na krajnji čvor segmenta rute ažurira prosečnu brzinu tog pređenog segmenta. Za to vreme drugi korisnik prijavljuje neki saobraćajni događaj (implementirano je i manuelno prijavljivanje događaja radi lakšeg testiranja). Ovo je prikazano na slici 5.10.



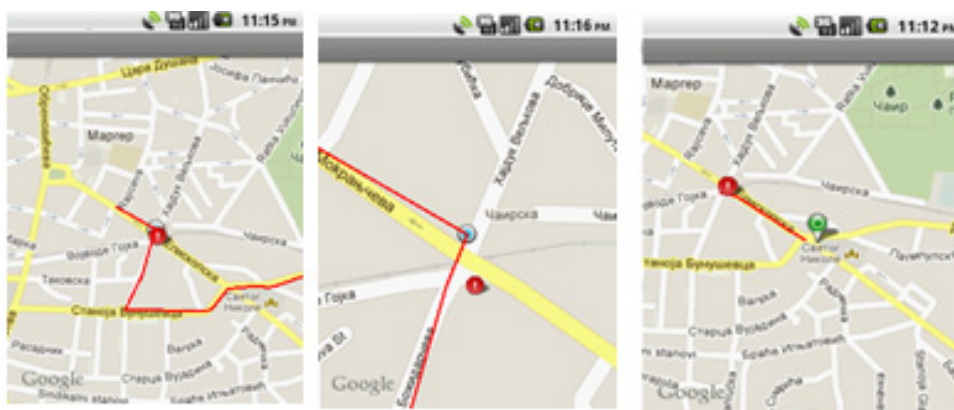
a)

b)

Slika 5.10 Istovremeno navigiranje po ruti a) prvog korisnika i b) prijava saobraćajnog događaja od strane drugog korisnika

I drugi korisnik navigira po ruti koja se delimično poklapa sa rutom prvog korisnika i na slici 5.10b zeleni marker označava njegovo odredište. Saobraćajni događaj koji znatno usporava saobraćaj drugi korisnik je prijavio iza raskrsnice Mokranjčeve i ulice Hajduk Veljka.

Prvi korisnik nastavlja da se kreće svojom rutom pri čemu se nalazi malo iza drugog korisnika. Kada naiđe na raskrsnicu Mokranjčeve i ulice Hajduk Veljka ažurira prosečnu brzinu za prethodni segment rute i kao odgovor dobija rerutiranje u skladu sa promenjenim stanjem na segmentu iza ove raskrsnice. Ovo je prikazano na slici 5.11. Predlog koncepta dinamičkog mobilnog navigacionog informacionog servisa je objavljen u (Roganovic, Stojanovic et al., 2011).



Slika 5.11 Rerutiranje prvog korisnika kao odgovor na promenjeno stanje u saobraćaju na dodeljenoj ruti

5.2 Prostorno i vremensko grupisanje detektovanih saobraćajnih događaja

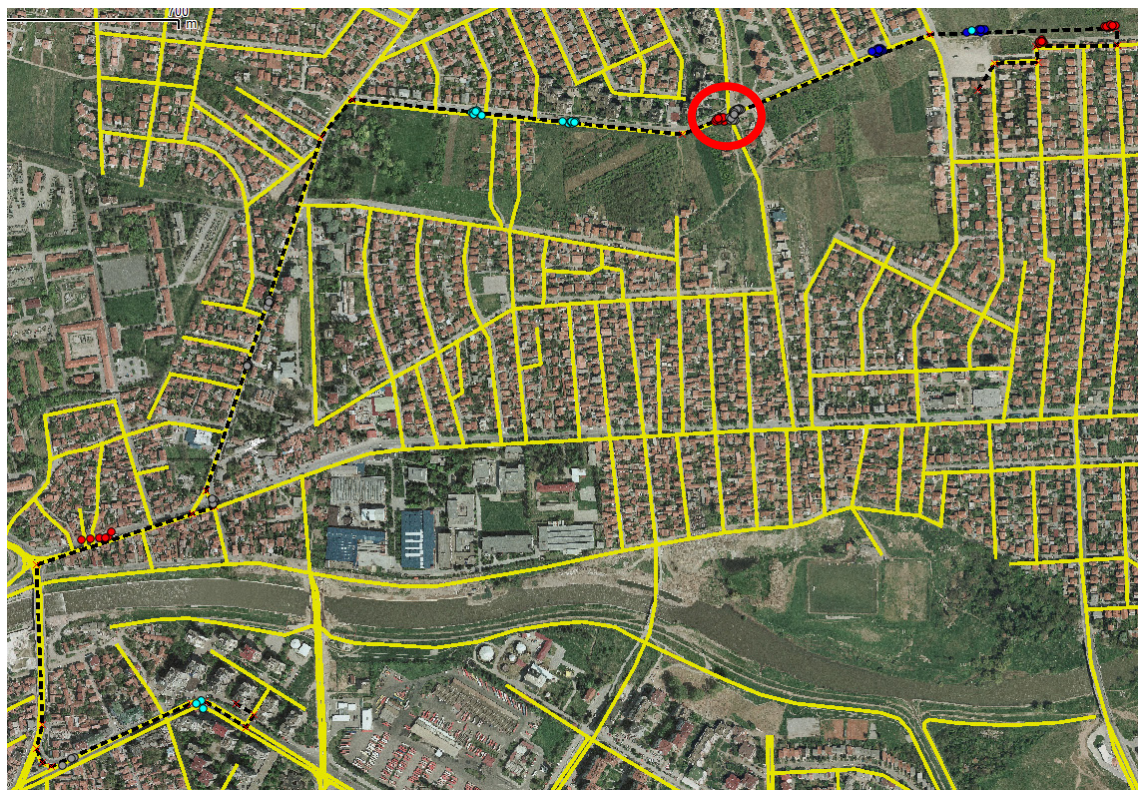
Bitno pitanje kod saobraćajnih informacionih servisa je pouzdanost isporučenih informacija krajnjim korisnicima. Pouzdanost i pravovremenost isporučenih dinamičkih saobraćajnih informacija krajnjim korisnicima u prvom redu zavisi od načina prikupljanja podataka o saobraćaju, kao i od primenjenog postprocesiranja. Pitanje pouzdanosti je naročito izraženo kod kategorije kolaborativnih saobraćajnih informacionih sistema sa participatornim opažanjem. U scenariju participatornog opažanja primarni izvor podataka o stanju u saobraćaju je veliku skup slučajnih i anonimnih korisnika koji kao glavnu uslugu sistema koriste proaktivni navigacioni servis predloženog sistema. Anonimnost korisnika sistema je kritično pitanje zbog bezbednosti podataka o kretanju. Upravo iz razloga zaštite privatnih i osetljivih podataka korisnici se ne identifikuju trajno u sistemu,

već se sesija održava samo tokom trajanja navigacije po zatraženoj ruti. Tokom trajanja sesije korisniku je dodeljen slučajni identifikator na osnovu koga se on povezuje sa rutom po kojoj navigira i za koju će mu biti slata sva relevantna obaveštenja, upozorenja, rerutiranja i sl. Zbog ovog načina zaštite privatnosti nije moguće primeniti sistem trajnog ocenjivanja nivoa pouzdanosti za svakog korisnika u ulozi mobilnog senzora. Ovaj princip međusobnog ocenjivanja korisnika i postepenog formiranja mere pouzdanosti za svakog pojedinačnog korisnika/senzorski čvor je najčešće korišćen u socijalnim mrežama u domenu saobraćaja kao što je prikazano u poglavlju 3.1. Obzirom da je privatnost fundamentalno pitanje koje može odbiti veliki broj potencijalnih korisnika predloženog sistema, procena pouzdanosti prikupljenih podataka o saobraćaju je implementirana na drugi način u fazi postprocesiranja prikupljenih izveštaja o detektovanim saobraćajnim događajima.

U fazi postprocesiranja prikupljenih prijava saobraćajnih događaja u kontrolnom centru moguće je primeniti neku GIS tehniku u svrhu procene i povećanja pouzdanosti prikupljenih informacija. Osnovni zadatak ove analize u fazi postprocesiranja je eliminacija lažnih detekcija. Ukoliko se kolaborativna nadgradnja konvencionalnih navigacionih servisa posmatra kao dodatna vrednost za krajnje korisnike (vozače), propušteni (nedetektovani) saobraćajni događaji ne doprinose kvalitativno vozačevoj svesti o njegovoj okolini, ali lažno detektovani saobraćajni događaji unose konfuziju i kao takve ih je neophodno eliminisati u maksimalnoj mogućoj meri. Obzirom da je osnova predloženog kolaborativnog sistema učešće velikog broja vozača, prikupljanjem podataka tokom njihovog kretanja po rutama koje se ponavljaju u celini ili u segmentima tokom dužeg vremenskog perioda moguće je zapaziti određene šablone koji se ponavljaju u prostoru i vremenu. U svrhu testiranja jedna ruta je ponavljana više puta tokom tri dana korišćenjem istog putničkog vozila. Testna ruta sa lokacijama svih tipova detektovanih saobraćajnih događaja na putnoj mreži je prikazana na slici 5.12.

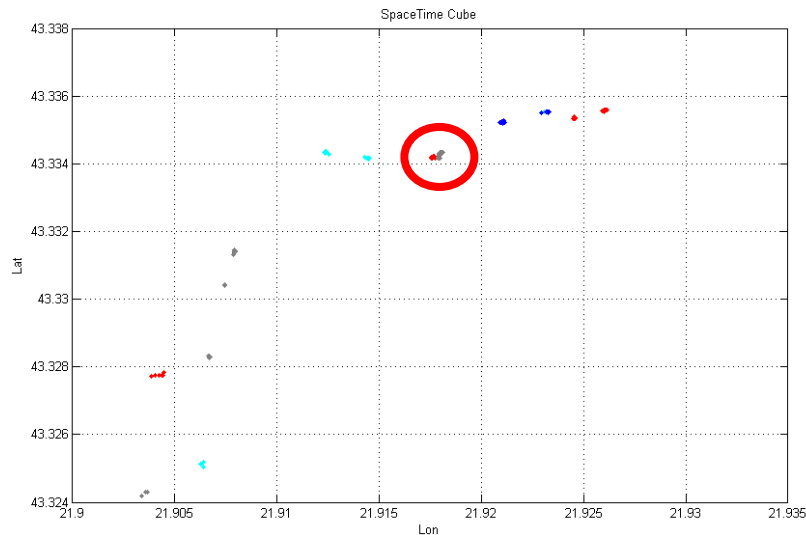
Bojenje različitih tipova detektovanih saobraćajnih događaja je u skladu sa bojenjem u poglavlju 4.4. Sa prethodne slike je očigledno uočljivo da postoji prostorno grupisanje tipova detektovanih saobraćajnih događaja u različitim instancama ruta tokom testnog perioda. Broj instanci jednog tipa detektovanog događaja unutar formirane grupe se može iskoristiti kao mera pouzdanosti realnog pojavljivanja tog događaja na toj lokaciji. Očigledan primer ove pojave grupisanja je nailazak na radove na putu (kružni tok u izgradnji) na sredini severnog kraka rute koji se prostire pravcem zapad-istok. Na ovo

lokaciji je uočljiv veliki broj naglih kočenja iza kojih sledi veliki broj detektovanih udarnih rupa. Ovo je sasvim očekivano ponašanje vozača prilikom nailaska na zonu radova na putu.



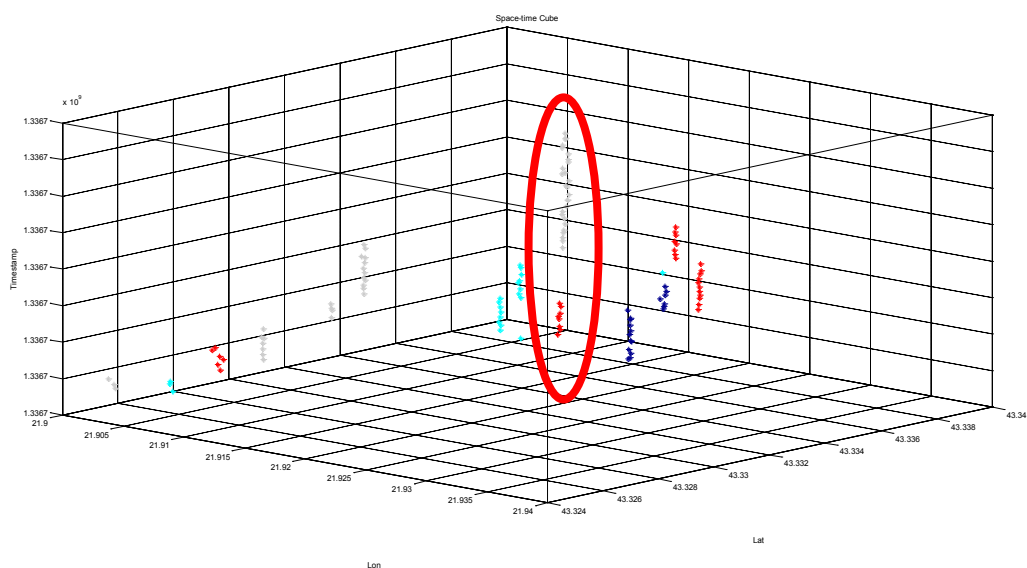
Slika 5.12 Ponavljana ruta sa lokacijama detektovanih klasa saobraćajnih događaja tokom tri dana testiranja

Koristan i često korišćen alat za analizu i vizuelizaciju prostorno-vremenskih podataka je kocka prostora i vremena (space-time cube) (Gatalsky, Andrienko et al., 2004). Vizuelizacija grupisanja događaja po tipu u dve dimenzije (prostoru) je prikazana na slici 5.13. Ovaj prikaz je praktično identičan prethodnoj slici bez aerofoto snimka kao podloge i prikazane putne mreže.



Slika 5.13 Podaci o saobraćajnim događajima spremni za grupisanje

Pre primene nekog konkretnog metoda grupisanja (*clustering*) na prikupljene podatke zanimljivo je uključiti vreme kao treću dimenziju u space-time cube vizuelizaciju. Ta treća dimenzija je u svim radovima identifikovana kao najmoćniji alat za vizuelno razumevanje prostorno-vremenskih podataka. Space-time cube vizuelizacija prikupljenih podataka sa dodatom vremenskom (trećom) dimenzijom je prikazana na slici 5.14. Na ovom dijagramu se prostorno formirane grupe događaja vide kao vertikalni nizovi različito bojenih tačaka. Zamiljivo je uočiti da se osim u prostoru, uočava i formiranje grupa i po trećoj dimenziji, vremenu.



Slika 5.14 Space-time cube 3D vizuelizacija podataka o saobraćajnim događajima prikupljenih tokom tri dana testiranja

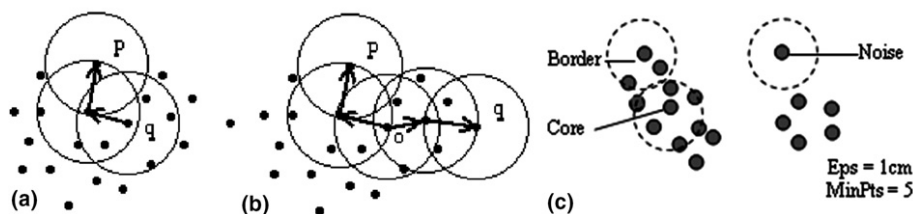
Na prethodne tri slike je posebno označen nailazak na i prelazak preko zone radova na putu kao reprezentativan saobraćajni događaj o čijoj se naglašenoj pouzdanosti može doneti zaključak na osnovu veličine grupe (klastera).

Najznačajniji algoritam grupisanja tačaka (formiranja klastera) danas je DBSCAN (*Density Based Spatial Clustering of Applications with Noise*) (Birant i Kut, 2007). Ovaj algoritam je osnova za OPTICS (*Ordering Points To Identify the Clustering Structure*) (Ankerst, Breunig et al., 1999), danas jedan od najčešće korišćenih algoritama za klasterovanje prostornih podataka. Ovi algoritmi za prostorno klasterovanje su osnova algoritama za semantičko označavanje skupova tačaka (trajektorija) koji su od interesa i u slučaju grupisanja prijavljenih lokacija saobraćajnih događaja (Spasojević, Stojanović et al., 2012).

Algoritam DBSCAN klasterom smatra region sa gustom koncentracijom objekata koji je odvojen od drugih takvih regiona oblastima manje gustine. U ovom procesu se ignorišu objekti u oblastima male gustine i izdvajaju se izolovane oblasti kao klasteri. Ovaj algoritam za određivanje gustine koristi centralno-orijentisani pristup po kome se za svaku tačku određuje gustina na osnovu broja tačaka u okolini zadanog poluprečnika. Ovaj parametar, (ϵ parametar) je osnovni parametar od koga primarno zavisi broj i veličina klastera formiranih ovim algoritmom. Primenom ovog, centralno orijentisanog pristupa svaka tačka iz skupa u kome se radi klasterovanje se može označiti kao:

- Unutar gustog regiona – centralna tačka
- Na granici gustog regiona – granična tačka
- Unutar regiona sa malom gustinom – šum

Ovaj princip je prikazan na slici 5.15.

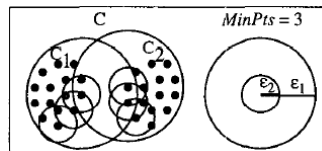


Slika 5.15 Princip rada DBSCAN algoritma (Birant i Kut, 2007)

OPTICS algoritam kao izlaz ne daje eksplicitno formirane klasterove, već radi preuređivanje redosleda tačaka u skupu za koji se radi klasterovanje. Novo uređenje je zasnovano na principu klasterovanja po gustini, tako da se klasteri konačno dobijaju

izdvajanjem iz preuređenog niza tačaka. Osnovno poboljšanje koje ovaj algoritam nudi u odnosu na DBSCAN je rad sa skupovima tačaka promenljive gustine. Tačke u skupu se linearno preuređuju tako da tačke koje su međusobno najbliže budu i susedi u preuređenom nizu. Uz svaku tačku se vežu i distance i na osnovu ove vrednosti se iz dobijenog preuređenog niza formiraju klasteri.

OPTICS algoritam ima dva parametra: ϵ radijus i $MinPts$, minimalan broj tačaka koji je potreban za formiranje klastera. Za konstantnu vrednost $MinPts$ klasteri sa manjom gustinom (većom ϵ vrednošću) mogu obuhvatati veći broj manjih klastera sa većom gustinom (manjom ϵ vrednošću). Ovakvo hijerarhijsko klasterovanje se predstavlja *dendrogramom*. Tokom rada algoritma tačka P se označava kao centralna tačka ako u njenoj ϵ okolini postoji barem $MinPts$ drugih tačaka. Princip hijerarhijskog klasterovanja je prikazan na slici 5.16.



Slika 5.16 Princip hijerarhijskog klasterovanja OPTICS algoritma (Ankerst, Breunig et al., 1999)

Unapređenje DBSCAN algoritma se ogleda u simultanom procesiranju za različite vrednosti ϵ radijusa. Zbog konzistentnosti rezultata je bitan redosled u kome se tačke obrađuju prilikom širenja klastera. Praktično, klasterovanje po dubini se ponavlja za veliki broj vrednosti ϵ radijusa pri čemu se tačke ne grupišu u klastere već se preuređuju u redosled po kome su obrađivane sa povećanjem ϵ radijusa. Svakoju procesiranoj tački se pridružuju dve numeričke vrednosti:

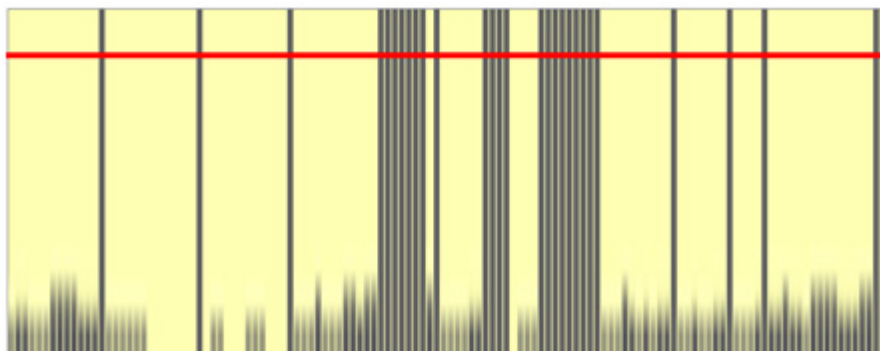
1. Centralna udaljenost (*core-distance*)
2. Udaljenost dometa (*reachability-distance*)

Centralna udaljenost se definiše kao najmanja udaljenost ϵ' između tačke P i tačaka u njenoj okolini tako da je tačka P centralni objekat u odnosu na ϵ' ako taj objekat pripada ϵ okolini. U suprotnom, centralna udaljenost je nedefinisana.

Udaljenost dometa za tačku P u odnosu na drugu tačku O se definiše kao najmanja udaljenost za koju je P tačka direktno dostižna iz tačke O pri čemu je tačka O centralna tačka.

Po izvršenom uređenju niza tačaka u odnosu na ε i *MinPts* moguće je formirati klustere korišćenjem bilo koje udaljenosti $\varepsilon' \leq \varepsilon$ i prolaskom kroz uređeni niz tačaka. Pri prolasku se pripadnost tačke klasteru određuje po udaljenosti dometa i centralne udaljenosti. Za svaku trenutno obrađivanu tačku se proverava da li je udaljenost dometa veća od vrednosti po kojoj se vrši klasterovanje, ε . Ukoliko je ovaj uslov zadovoljen trenutno obrađivana tačka se može dosegnuti u gustoj oblasti za ε' i *MinPts* svake tačke koja se u uređenom nizu nalazi pre posmatrane tačke. Ako je udaljenost dometa veća od ε' posmatra se centralna udaljenost tačke i formira novi klaster ukoliko posmatrana tačka zadovoljava uslov za centralnu tačku za ε' i *MinPts*. Konačno, ako tačka nije centralna, odbacuje se i smatra šumom.

Ako je udaljenost dometa trenutno obrađivane tačke manja od ε' ova tačka se odmah dodaje trenutnom klasteru jer sigurno pripada (dostižna je) u gustoj oblasti definisanoj za ε' i *MinPts*. Za prethodno prikupljene podatke je na ovaj način je formirana vizuelna reprezentacija udaljenosti dometa za prethodno uređene lokacije prijavljenih saobraćajnih događaja. Ovo je prikazano na slici 5.17.

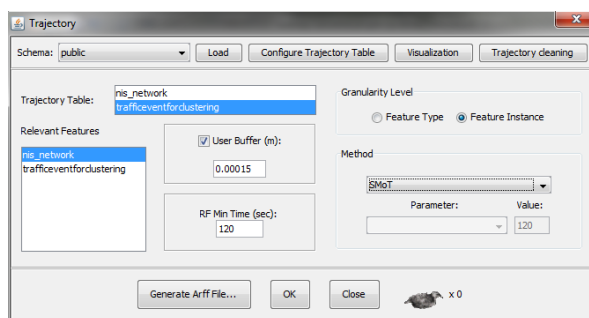


Slika 5.17 Uređeni niz tačaka na kojima su prijavljeni saobraćajni događaji sa pridruženim vrednostima udaljenosti dometa

Ako je po x-osi predstavljeno uređenje tačaka trajektorije, a po y-osi udaljenost dometa, uočava se da tačke koje pripadaju klasterima imaju male udaljenosti dometa do najbližeg suseda. Prema slici klasterima odgovaraju oblasti koje izgledaju kao udubljenja. Što je dublje udubljenje to je klaster gušći. Na osnovu prirodnih ograničenja saobraćajnog domena i geografskih koordinata prijavljenih događaja klasterovanje je obavljeno za vrednost parametara $\varepsilon=0.12$ i *MinPts*=3. Granična vrednost ε se može birati prilikom formiranja klastera i na prethodnoj slici je prikazana crvenom linijom. U primeru prikazanom na prethodnoj slici oblasti relativno približnih vrednosti udaljenosti dometa su jasno razdvojene tačkama za koje je udaljenost dometa nedefinisana. Na taj način se jasno

izdvaja 11 klastera tačaka što se i vizuelno može potvrditi na slici 5.13. Zanimljivo je zapaziti da se podešavanjem parametra *MinPts* u postprocesiranju mogu u potpunosti eliminisati svi saobraćajni događaji koje je prijavilo manje od N korisnika.

Za procenu metoda klasterovanja na prikupljenim podacima je iskorišćeno open-source proširenje WEKA alata pod nazivom WEKA-STPM (Semantic Trajectories Preprocessing Module). Naročito je interesantan algoritam IB-SMoT (*Intersection-Based Stops and Moves of Trajectories*). U pitanju je algoritam za semantičko označavanje trajektorija ali se prilagođenjem parametara može primeniti i u posmatranom slučaju klasterovanja lokacija prijavljenih saobraćajnih događaja (Slika 5.18). Uprošćeno posmatrano algoritam proverava za svaku tačku trajektorije T da li preseca geometriju nekog od relevantnih objekata R_c . U slučaju da preseca, algoritam proverava vremensko trajanje preseka (broj susednih tačaka i po vremenskoj osi). Ukoliko je vreme preseka manje od definisane granične vrednosti Δ_c , posmatrana tačka se smatra zaustavljanjem. U suprotnom posmatrana tačka se smatra kretanjem. Ovaj postupak se ponavlja za svaku instancu snimljene rute (niza tačaka) pri čemu se svaki skup tačaka koji pripada istoj ruti obeležava jedinstvenim identifikatorom. Kako bi ovaj algoritam bio primenjen na slučaj klasterovanja prijavljenih saobraćajnih događaja za identifikator instance rute (*tid* parameter algoritma) se može uzeti jedinstveni identifikator tipa saobraćajnog događaja. Ovaj izbor je korektan obzirom da klasterovanje želimo da radimo samo unutar grupa tačaka koje pripadaju istom tipu događaja. Dalje, kao skup relevantnih objekata je moguće izabrati linijske segmente koji čine putnu mrežu. Kako bi uzeo u obzir određenu nepreciznost i šum koji postoji prilikom određivanja lokacije GPS prijemnikom, algoritam oko svakog relevantnog objekta (segmenta putne mreže) kreira bafer određene veličine. Veličina bafera (*User buffer*) je još jedan ulazni parameter algoritma i može se prilagođavati karakteristikama putne mreže (gustina ulica) i procenjenoj greški GPS prijemnika (na otvorenom putu ili i uslovima “urbanih kanjona”). Obzirom da su snimljeni podaci u geografskim koordinatama realna veličina bafera je 0.00015° . Minimalno vreme zadržavanja (*RF Min Time*) kao parameter određuje klasterovanje po vremenskoj osi i potrebno ga je prilagoditi u zavisnosti od broja vozila koja učestvuju kao mobilni senzori i očekivane frekvencije prijave istog saobraćajnog događaja.



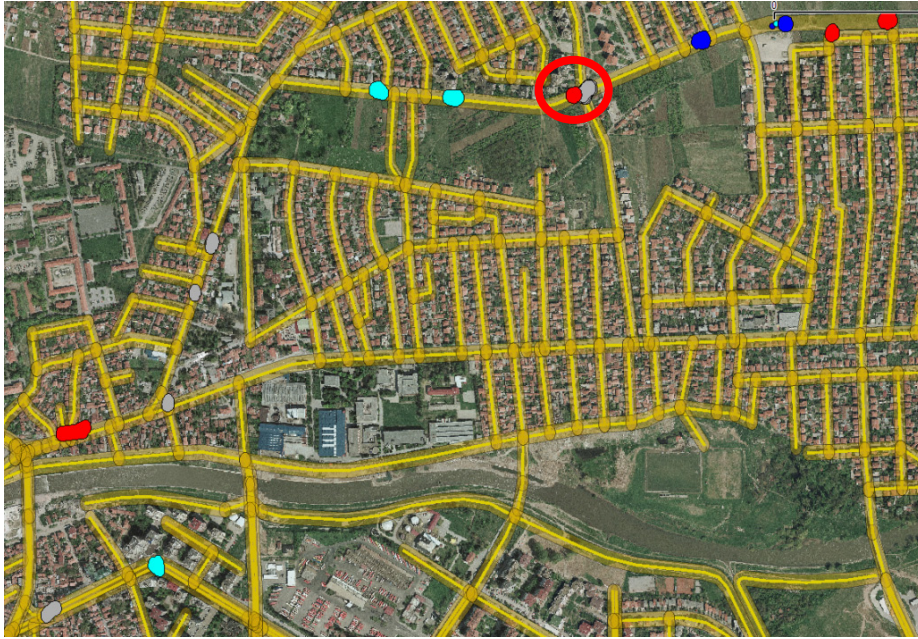
Slika 5.18 GUI alata WEKA-STPM sa korišćenim parametrima SMOt algoritma upotrebljenog za klasterovanje

Dodatna posredna prednost ovog algoritma je što odmah radi i “*map-matching*” prijavljenih saobraćajnih događaja koji su klasterovani, odnosno vezuje ih za segment putne mreže na kome su se desili. Ovakvom konfiguracijom ulaznih parametra IB-SMOt algoritma izlaz su zaustavljanja i kretanja. Kretanja u ovom slučaju čine tačke koje nisu klasterovane i koje se odbacuju kao šum. Zaustavljanja čine klasteri. Za svako zaustavljanje (formirani klaster) se generiše:

1. *Tid* – identifikator tipa saobraćajnog događaja (u originalnom algoritmu trajektorije)
2. *Sid* – jedinstveni identifikator formiranog klastera (u originalnom algoritmu zaustavljanja)
3. *SFTName* – naziv segmenta ulice za koji je klaster vezan (u originalnom algoritmu relevantnog objekta)
4. *SFid* – jedinstveni identifikator segmenta ulice za koji je vezan klaster
5. *startT* – početak prijavljenih događaja koji čine klaster
6. *endT* – kraj prijavljenih događaja koji čine klaster
7. *the_geom* – geometrija koja određuje veličinu i oblik formiranog klastera

Mera pouzdanosti detekcije saobraćajnih događaja koji su klasterovani na ovaj način može biti površina poligona (*the_geom*) izlaza algoritma. Ukoliko su lokacije prijavljenog događaja jako blizu (određene vrlo precizno) ovaj pristup neće generisati realnu meru pouzdanosti zato što će geometrija klastera biti vrlo približna krugu veličine koja je određena veličinom bafera oko segmenata putne mreže i biće konstantna bez obzira na broj prijavljenih događaja koji čine klaster. Iz tog razloga algoritam je proširen tako da uz svaki generisani klaster kao izlaz daje i broj tačaka koje čine taj klaster. Ova vrednost je iskorišćena kao mera pouzdanosti i direktno utiče na težinu segmenta putne mreže prilikom rutiranja.

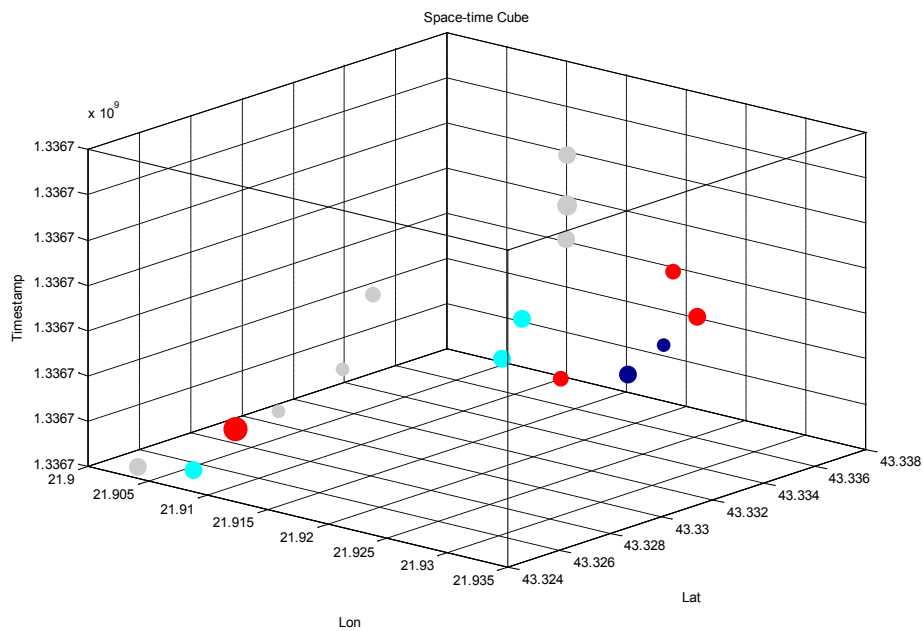
Kreirani klasteri prijavljenih saobraćajnih događaja su prikazani na slici 5.19.



Slika 5.19 Klasteri formirani od uzastopnih prijava saobraćajnih događaja

U naznačenoj zoni radova na putu se može uočiti više klastera tipa događaja *UdarneRupe*. Iako svi ovi prijavljeni događaji zadovoljavaju prostorni uslov klasterovanja prijavljeni su u razmaknutim vremenskim trenucima pa se od njih formiraju 3 klastera.

Space-time Cube prikaz klastera formiranih na osnovu prijavljenih saobraćajnih događaja je dat na slici 5.20.



Slika 5.20 Space-time Cube prikaz klastera prijavljenih saobraćajnih događaja

Rezultati prostorno-vremenskog grupisanja događaja na trajektoriji su objavljeni u radu (Spasojević, Stojanović et al., 2012).

6 Evaluacija sistema i validacija metoda detekcije saobraćajnih događaja

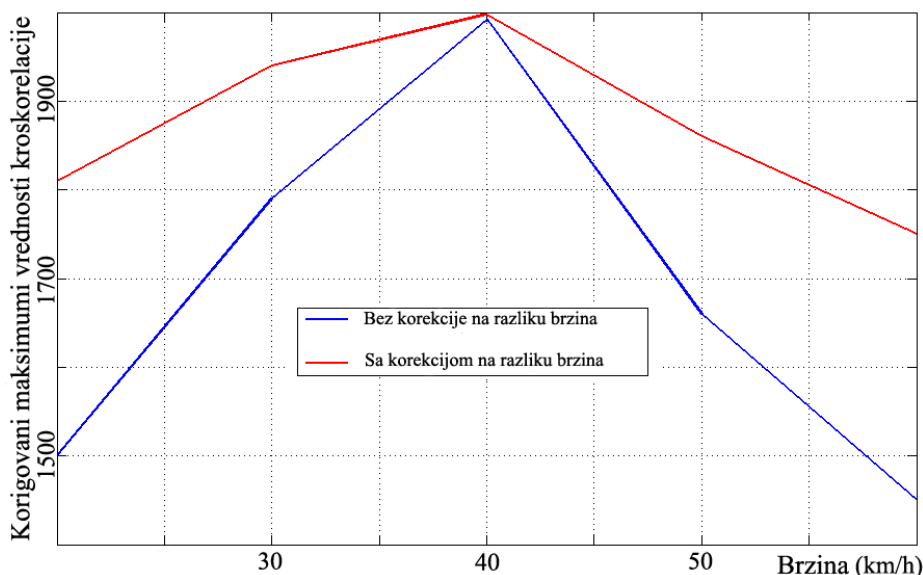
Bitno pitanje kod grupe informacionih sistema participatornog opažanja, u koju spada i predloženi sistem, je pouzdanost ovako prikupljenih podataka. U ovom participatornom saobraćajnom informacionom sistemu prikupljamo podatke o saobraćajnim događajima od velikog broja anonimnih i slučajnih korisnika koji učestvuju u saobraćaju sa različitim tipovima vozila i koriste za navigaciju i detekciju različite tipove mobilnih klijentskih uređaja. Takođe, nije zanemarljiv ni uticaj različitih stilova vožnje kod različitih vozača na proces detekcije relevantnih saobraćajnih događaja. Značajan korak u uspešnoj identifikaciji konkretnog saobraćajnog događaja (manevra) u realnoj vožnji je računanje korelacije sa unapred pripremljenim uzorcima za sve manevre. Obzirom da je trenutna brzina vozila u trenutku detekcije parametar koji značajno utiče na pouzdanost identifikacije događaja određena modifikacija uzoraka je neophodna. U skladu sa ograničenjima procesa detekcije lokalizovanom na samom klijentskom mobilnom uređaju nerealno bi bilo održavati listu varijanti uzoraka za svaki tip saobraćajnog događaja za sve vrednosti parametara, primarno uključujući brzinu.

6.1 Uticaj brzine i tipa vozila na detekciju saobraćajnih događaja

Obzirom da je primarni dodatni senzor u predloženom sistemu akcelerometar statičkog tipa koji detektuje dejstvo sila na mobilni uređaj, a samim tim i vozilo, očigledno je da je promenljiva brzina pri kojoj se obavlja detekcija parametar koji najviše utiče na pouzdanost detekcije. Ukoliko u trenutku detekcije postoji razlika u trenutnoj brzini vozila i brzini pri kojoj je snimljen uzorak koji se koristi za korelaciju očigledno je da ćemo imati različite karakteristike podataka sa akcelerometra i samim tim niže vrednosti sračunate korelacije sa odgovarajućim uzorkom. Takođe je očigledno da postoji neka gornja granica razlike brzina i apsolutne brzine u kojima je detekcija i generalno pojava nekog manevra moguća. Tako na primer, manevar naglog izbegavanja prepreke nema smisla detektovati na brzinama većim od 80km/h zato što u tim uslovima nije ni moguć. Ovaj manevar se u standardizovanom testu „severnog“ jelena izvodi pri brzini od 64km/h. Svi uzorci korišćeni u testiranju detektora predstavljenih u prethodnim poglavljima su snimljeni pri brzini od 40km/h što je neka mnogo realnija brzina za uslove gradske vožnje. U poglavlju 4.5.2 je detaljnije analiziran uticaj ove razlike u brzinama na karakteristike podataka sa

akceleracionog senzora i predložene metode modifikacije uzoraka radi povećanja vrednosti korelacije.

Uticaj razlike između trenutne brzine i brzine na kojoj su uzorci snimljeni na izračunatu vrednost korelacije je dat na slici 6.1 na primeru karakterističnog manevra izbegavanja prepreke.



Slika 6.1 Uticaj korekcije uzoraka na rezultate korelacije

Centralna brzina je 40km/h i očekivano, pri poklapanju trenutne brzine i brzine pri kojoj je snimljen uzorak, imamo maksimalnu vrednost maksimuma vrednosti korelacije od nešto manje od 2000. Već pri razlici brzina od $\Delta V = 20\text{km/h}$ maksimum vrednosti korelacije se smanjuje za 25% i spušta na vrednost nešto manju od 1500. Primenom metode linearne korekcije intenziteta sila i trajanja uzorka uočavaju se određena poboljšanja. Pri istoj razlici brzina između uzorka i trenutne brzine vozila pri detekciji od $\Delta V = 20\text{km/h}$ maksimum vrednosti korelacije se smanjuje za okvirno 10% i kreće se oko 1800.

Drugi bitan aspekt procene performansi predloženog participatornog sistema za detekciju saobraćajnih događaja je sposobnost sistema da eliminiše lažnu identifikaciju. Razlika maksimalnih vrednosti kroskorelacije između pozitivnih i negativnih identifikacija treba da ostavi dovoljno prostora za postavljanje donje granice za pozitivnu identifikaciju. Maksimalne vrednosti kroskorelacije za različite uzorke i realne izvedene manevre su prikazane u tabeli Tabela 6.1.

	Izbegavanje prepreke u levo	Izbegavanje prepreke u desno	Naglo kočenje	Promena saobraćajne trake	Bočno proklizavanje (podupravljanje)
Izbegavanje prepreke u levo	1880	-	-	-	-
Izbegavanje prepreke u desno	998	1940	-	-	-
Naglo kočenje	244	223	1910	-	-
Promena saobraćajne trake	403	465	190	1790	-
Bočno proklizavanje (podupravljanje)	298	278	203	214	1800

Tabela 6.1 Maksimalne vrednosti kroskorelacije između različitih tipova uzoraka i izvedenih manevara (saobraćajnih događaja)

U prethodnoj tabeli se vidi jasna razlika između maksimalnih vrednosti kroskorelacije za iste klase saobraćajnih događaja i za različite klase. Na osnovu prikazanih vrednosti se može postaviti donja granica CCR za detekciju na vrednost 900. Ovde je zanimljivo uočiti maksimalnu vrednost kroskorelacije prilikom prepoznavanja uzorka izbegavanja prepreke u levo u manevru izbegavanja prepreke u desno (koji se realno u saobraćaju dešava relativno retko). Vrednost od 998 je na samom donjem pragu prepoznavanja ukoliko za prag ustanovi predložena vrednost od 900. Ovako izražena vrednost maksimuma kroskorelacije za simetričan manevar je i predviđena u diskusiji rezultata sa slike 4.31. Iako je zbog simetrične karakteristike formule za računanje CCR date u poglavlju 4.5.2 bilo realno očekivati veće vrednosti kroskorelacije simetričnih manevara ovako pozicionirana vrednost maksimuma kroskorelacije omogućava fino podešavanje karakteristika modula za prepoznavanje. U zemljama u kojima se vozi desnom stranom puta izbegavanje prepreke u levu stranu je mnogo „prirodniji“ manevar i vozači će ga izvesti sa mnogo manje oklevanja. Takođe, maksimalna vrednost kroskorelacije simetričnih manevara koja je ravnomerno udaljena kako od vrednosti uspešnog prepoznavanja, tako i od vrednosti neuspešnog prepoznavanja manevara omogućava postavljanje praga detekcije u skladu sa potrebom detekcije ili filtriranja ovih simetričnih manevara.

Obzirom da princip participatornog opažanja u predloženom saobraćajnom informacionom sistemu podrazumeva veliki broj anonimnih korisnika (vozača) koji se koriste kao mobilni senzori vrlo je značajan uticaj tipa vozila na pouzdanost predloženog metoda detekcije saobraćajnih događaja. Značajna razlika u vrednosti CCR za pozitivne i negativne identifikacije sugeriše robusnost sistema u odnosu na tip korišćenog vozila. Uz

pretpostavku da će najveći broj korisnika ovog sistema koji su ujedno i mobilni senzori koristiti različite tipove putničkih vozila testiranje je obavljeno sa tri tipa najčešćih putničkih vozila: putnički automobile C klase (referentno vozilo kojim su snimljeni uzorci), kompakt SUV i tipičan porodični karavan automobil. Rezultati maksimuma sračunatih vrednosti kroskorelacija nad istim skupom uzoraka za sva tri tipa vozila su prikazani u tabeli Tabela 6.2.

	Putnički automobil C klase (referentni)	Kompakt SUV	Porodični karavan
Izbegavanje prepreke	2250	1900	1850
Naglo kočenje	1980	1660	1910
Nagla promena saobraćajne trake	1680	1230	1325
Bočno proklizavanje (podupravljanje)	2100	1340	1160

Tabela 6.2 Maksimalne vrednosti kroskorelacije za različite tipove vozila nad istim skupom uzoraka

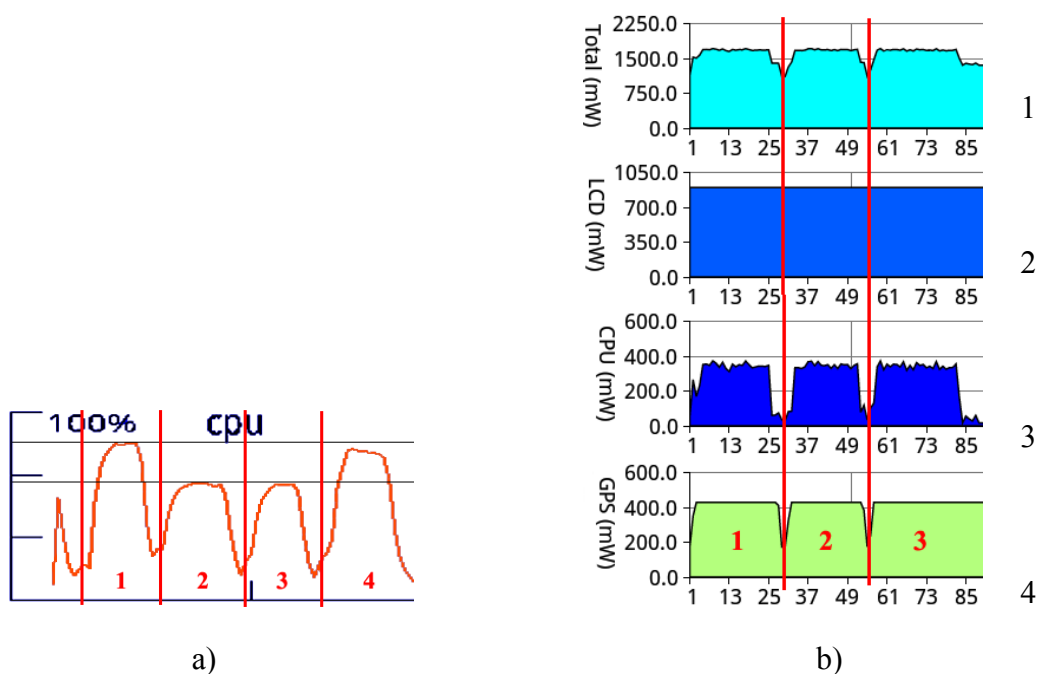
Sve vrednosti su značajno iznad prethodno utvrđene donje granične vrednosti za CCR za uspešnu identifikaciju.

6.2 Analiza performansi i korišćenja resursa mobilnog sistema za detekciju saobraćajnih događaja

Performanse modula za analizu podataka sa akceleracionog senzora i detekciju saobraćajnih događaja su takođe vrlo bitne kada se uzme u obzir da je u pitanju pozadinski proces koji treba da bude potpuno transparentan za krajnjeg korisnika mobilnog računarskog uređaja. Ovo je vrlo bitan faktor za masovno prihvatanje sistema od strane velikog broja korisnika obzirom da je primarna funkcija mobilnog klijentskog uređaja u vožnji navigacija i vizuelizacija navigacionih instrukcija, a ne detekcija saobraćajnih događaja. Zato je vrlo bitno sprovesti analizu uticaja modula za detekciju na potrošnju energije i zauzeće procesora mobilnog klijentskog uređaja. Snimljena potrošnja energije u različitim fazama detekcije je prikazana na slici 6.2b.

Sa vrha na niže, grafik prikazuje ukupnu potrošnju, potrošnju ekrana, CPU i GPS prijemnika. Svi grafici su horizontalno podeljeni na tri dela pri čemu je u svakom od delova bio aktiviran jedan modul za analizu. U delu jedan nije bio aktiviran ni jedan modul za analizu, u delu 2 bila je aktivna analiza u frekventnom domenu i u delu 3 su bili aktivirani i modul za frekventnu analizu i modul za kroskorelaciju. Obzirom da je u pitanju bila debug verzija Android aplikacije za testiranje aktivirana je vizuelizacija vrednosti

izračunatih karakteristika što je prikazano na slici 4.37. Kao što se na graficima može videti veliki displeji savremenih mobilnih uređaja doprinose sa više od 50% ukupnoj potrošnji energije što je vidljivo na grafiku na slici 6.2b2. GPS je takođe u mnogim radovima u literaturi identifikovan kao senzor sa značajnom potrošnjom. To je potvrđeno u ovom merenju i na grafiku 6.2b1 se vidi da je to nešto preko 25%. Konačno, procesor tokom detekcije doprinosi sa nešto manje od 25% ukupnoj potrošnji energije. Potrošnja procesora je prikazana na grafiku 6.2b3. Treba uočiti da dva uočljiva minimuma na ovom grafiku na granici između oblasti merenja predstavljaju periode rekonfiguracije modula za analizu i tada detekcija nije bila aktivna. Takođe je zanimljivo uočiti da je potrošnja procesora na praktično konstantnih 25% bez obzira na tip aktivnog modula za detekciju.

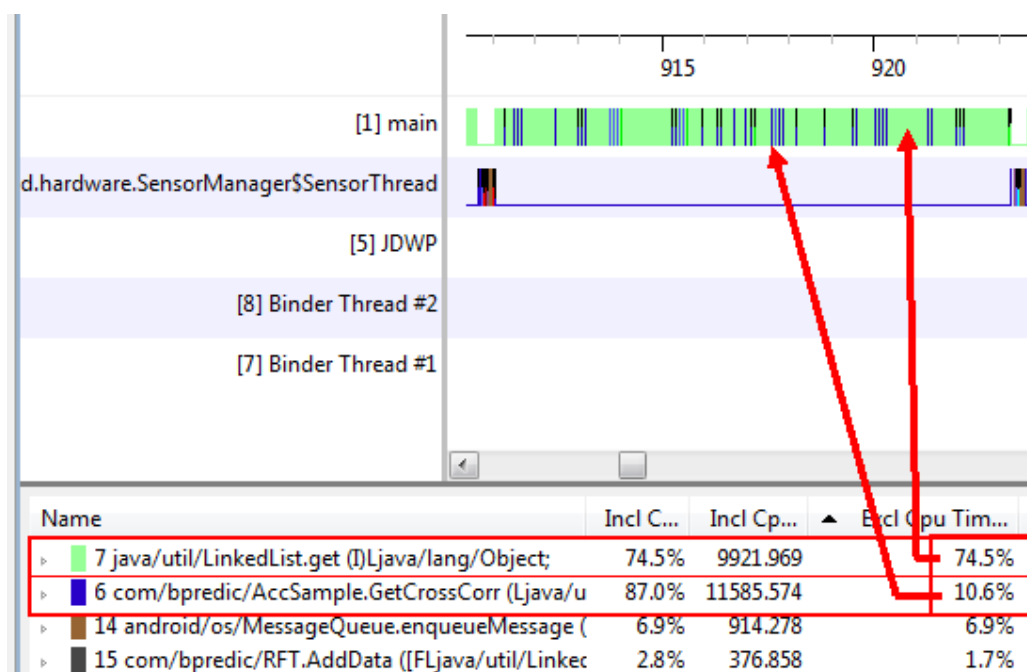


Slika 6.2 Opterećenje mobilnog klijentskog uređaja tokom detekcije saobraćajnih događaja

U cilju dodatne analize ove izbalansirane potrošnje energije procesora dodatno je analizirano opterećenje procesora za iste kombinacije aktivnih modula za analizu. Rezultati su prikazani na slici 6.2a. Grafik je horizontalno podeljen na 4 dela slično kao i slika 6.2b. U delu 1 i modul za frekventnu analizu i kroskorelaciju su bili aktivni pri čemu se kroskorelacija računala za dva uzorka. Konkretno, korišćeni su uzorci za izbegavanje prepreke i naglo kočenje. U delu 2 je bio aktivan samo modul za frekventnu analizu, a u delu 3 ni jedan od modula za detekciju nije aktiviran. Sa grafika se vidi da je modul za frekventnu analizu vrlo efikasan i zanemarljivo doprinosi opterećenju procesora (razlika između delova grafika 2 i 3). Bez obzira na efikasnost doprinos ovog modula korektno

identifikaciji je ograničen obzirom na pokazano odsustvo periodičnosti u relevantnim saobraćajnim manevrima. Na grafiku je takođe vidljivo da aktiviranje modula za kroskorelaciju dodaje nekih 25% na opterećenje procesora. Ovo je značajan procenat, ali ipak ostavlja dovoljno prostora za ostale aktivnosti na mobilnom uređaju. U delu 1 grafika 6.2b modul za kroskorelaciju koristi dva uzorka dok u delu 4 grafika koristi samo jedan (identifikuje samo izbegavanje prepreke). Zanimljivo je uočiti da dodatni uzorci koji se prepoznaju ne doprinose značajno dodatnom opterećenju procesora (razlika u vrednosti na grafiku u delu 1 i 4).

Obzirom da vizuelizacija sračunatih karakteristika podataka sa akceleracionog senzora značajno doprinosi opterećenju procesora, a potrebna je samo u debug verziji mobilne aplikacije, isključena je i iskorišćen je DDMS (Dalvik Debug Monitor Service) za detaljniji uvid u raspodelu procesorskog vremena različitih funkcija modula za analizu. Rezultati ovog profiler alata su prikazani na slici 6.3.



Slika 6.3 Rezultati *profiler* alata primenjenog na mobilnu aplikaciju i modul za detekciju

Prikaz profiler alata na ovoj slici je fokusiran na period između dva pribavljanja podataka sa akceleracionog senzora. Samo pribavljanje podataka se obavlja u zasebnoj niti (*SensorThread*) i prikazano je u drugom redu odozgo grafičkog prikaza ovog alata. U prvom redu, glavnoj niti aplikacije, različite metode su prikazane različitim bojama na vremenskom toku. Sa vremenskog toka je jasno uočljivo da manipulacija podacima u protočnom baferu (implementiran lančanom listom) ostavlja dosta prostora za

optimizaciju i zauzima najviše procesorskog vremena. Konkretno, samo računanje kroskorelacije (metoda *AccSample.GetCrossCorr*) zauzima 10.6% procesorskog vremena, a manipulacija protočnim baferom podataka 74.5%.

Konačna procena relevantnosti pristupa detekcije saobraćajnih događaja korišćenjem modula za kroskorelaciju je obavljena uključivanjem sračunatih maksimuma kroskorelacije za svaki uzorak kao dodatnih karakteristika podataka sa akceleracionog senzora kao što je korišćeno u poglavlju 4.4. Korišćenje jednostavne granične vrednosti kao kriterijuma uspešne detekcije saobraćajnog događaja je najbližnje J48 stablu odlučivanja koje je korišćeno u poglavlju 4.4. Prednost ovog klasifikatora je u njegovoj vrlo jednostavnoj implementaciji pa je zato dodatno pogodan za korišćenje u realnom vremenu na mobilnim uređajima. Skup karakteristika korišćenih u poglavlju 4.4 je proširen maksimumima sračunatih vrednosti kroskorelacije za svaki od 5 identifikovanih relevantnih saobraćajnih događaja. Formirano stablo odlučivanja na osnovu proširenog skupa karakteristika je prikazano na slici 6.4. Uočljivo je da su u formiranom stablu odlučivanja samo dodatne karakteristike dobijene iz modula za kroskorelaciju. Pri tome je procenat pouzdanosti klasifikacije porastao sa 70% (sa osnovnim skupom karakteristika) na 96.36%.

```

J48 pruned tree
-----

IzbegavanjePreprekeKor <= 301
|  NormalnaVoznjaKor <= 405
|  |  NagloKocenjeKor <= 290: UdarneRupe (10.0)
|  |  NagloKocenjeKor > 290: NagloKocenje (12.0)
|  NormalnaVoznjaKor > 405: NormalnaVoznja (13.0)
IzbegavanjePreprekeKor > 301
|  IzbegavanjePreprekeKor <= 711: PromenaTrake (10.0)
|  IzbegavanjePreprekeKor > 711: IzbegavanjePrepreke (10.0)

Number of Leaves :      5

Size of the tree :      9

```

Slika 6.4 Formirano J48 stablo odlučivanja na osnovu proširenog skupa karakteristika

Konfuziona matrica sa merama uspešnosti klasifikatora je prikazana na slici 6.5. Iz konfuzione matrice se vidi da je jedan slučaj lažne identifikacije nastao tako što je manevar promene trake identifikovan kao izbegavanje prepreke (promena trake predstavlja prvu polovinu manevra izbegavanja prepreke) i jedan nailazak na udarnu rupu je pogrešno identifikovan kao promena saobraćajne trake. Ova druga lažna identifikacija je u skladu sa zaključcima sa početka poglavlja 4.3 kada je uočeno da nailazak na udarnu rupu jedini

pokazuje jasne karakteristike na višim frekvencijama i da se najjasnije detektuje analizom u frekventnom domenu. Rezultati validacije i verifikacije predloženog rešenja su objavljeni u (Predic i Stojanovic, 2012).

```
=== Confusion Matrix ===  
  
Precision  Recall  F-Measure  a  b  c  d  e  <-- classified as  
0.909      1      0.952     10 0 0 0 0 | a = IzbegavanjePrepreke  
1          1          1          0 12 0 0 0 | b = NagloKocenje  
0.9        0.9        0.9         1 0 9 0 0 | c = PromenaTrake  
1          0.9        0.947        0 0 1 9 0 | d = UdarneRupe  
1          1          1          0 0 0 0 13 | e = NormalnaVoznja
```

Slika 6.5 Konfuziona matrica J48 klasifikatora sa proširenim skupom karakteristika

7 Zaključak

Sve veća popularnost i dostupnost malih i jeftinih mobilnih računarsko-komunikacionih uređaja poslednjih godina je donela značajne novine u tipovima i funkcionalnostima savremenih informacionih sistema prvenstveno namenjenih mobilnim korisnicima. Integracija velikog broja različitih senzora na mobilnim uređajima koje danas korisnici nose svuda sa sobom tokom celog dana omogućava opažanje stanja okoline u kojoj se konkretan korisnik nalazi i prilagođenje funkcionalnosti informacionog sistema konkretnom korisniku i konkretnoj situaciji u kojoj se taj korisnik nalazi. Tipičan današnji mobilni telefon *smartphone* tipa integriše GPS prijemnik i druge metode lociranja korisnika u prostoru, akceleracioni senzor, senzor orijentacije u prostoru, blizine drugih objekata, nivoa osvetljenja itd. Mobilne aplikacije koje su deo (klijenti) mobilnih informacionih sistema i koje koriste ove senzore kako bi prikupljale podatke o okolini korisnika se klasifikuju kao kontekstno svesne aplikacije. Obzirom da je ovako definisan kontekst vrlo široka kategorija današnji komercijalni i razvojni projekti se skoro isključivo fokusiraju na neki konretan domen. Iako su danas komercijalno dostupni kontekstno svesni sistemi uglavnom u domenu socijalnih mreža na mobilnim uređajima ovaj koncept je primenljiv i u drugim oblastima.

7.1 Rezime istraživanja i doprinos disertacije

Fokus ove disertacije je bio domen saobraćaja. Sve veći broj vozača danas koristi usluge navigacije po putnoj mreži na svom mobilnom uređaju opšte namene. Mnogi danas komercijalno dostupni navigacioni i saobraćajni informacioni servisi osim statičkih podataka o putnoj mreži nudi i dinamičke informacije o stanju u saobraćaju. U domenu saobraćajnih informacionih i navigacionih servisa stanje saobraćaja u neposrednoj okolini vozača čini kontekst tog vozača kao korisnika servisa. U tom smislu se može reći da se savremeni saobraćajni i navigacioni servisi razvijaju u pravcu kontekstno svesnih sistema. Oblast u kojoj su aktuelna istraživanja su izvori dinamičkih informacija o saobraćaju. Tradicionalno, danas su to različiti tipovi fiksnih senzora (induktivne petlje, kamere, brojači vozila i sl.) koji se ugrađuju u putnu infrastrukturu prilikom izgradnje. Osnovna mana ovog pristupa je da se pokriva relativno mali deo putne mreže po vrlo visokoj ceni. Kada se uzme u obzir da u saobraćaju u znatnom procentu učestvuju vozači koji koriste neku vrsu navigacionog servisa na svom mobilnom uređaju generalnog tipa sa velikim

brojem integrisanih senzora elegantno rešenje slabe pokrivenosti putne mreže je nađeno u konceptu participatornog opažanja. Sami vozači, odnosno njihovi mobilni uređaji sa integrisanim sensorima, postaju mobilni senzorski čvorovi koji se kreću po putnoj mreži i prikupljaju podatke o stanju u saobraćaju. Sam način upotrebe ovako prikupljenih podataka je takođe inovativan. Današnja savremena vozila takođe poseduju veliki broj senzora koji su najčešće deo aktivnih sistema bezbednosti. Zajednička karakteristika svih sistema aktivne bezbednosti je autonomnost rada. Svi prikupljeni podaci sa senzora u vozilu se koriste za aktiviranje ovih sistema i to kada do kritične situacije već dođe. Pri tome u ovom procesu vozač uopšte nije uključen, odnosno ovi sistemi uopšte ne utiču na vozačevo opažanje okoline, pa samim tim i ne mogu delovati preventivno. Inovativnost u proaktivnom opažanju primenjenom na domen saobraćaja je u razmeni ovako prikupljenih podataka kroz neku vrstu proaktivnog saobraćajnog informacionog servisa koji će prvenstveno uticati preventivno na svest vozača i njegovo shvatanje stanja u saobraćaju ispred vozila.

Uvođenjem dinamičkih informacija u saobraćajne i navigacione servise veoma interesantna funkcionalnost koja je postala dostupna vozačima je rutiranje po putnoj mreži u skladu sa trenutnim stanjem u saobraćaju, a sve u cilju što bržeg putovanja između dve tačke na putnoj mreži. Pri tome su sami vozači koji učestvuju u saobraćaju i koriste navigacioni servis iskorišćeni kao mobilni senzorski čvorovi tako što periodično šalju podatke o svojoj trenutnoj brzini. FCD (Floating Car Data) sistemi na ovaj način dinamički formiraju sliku o opterećenju pojedinih segmenata putne mreže, saobraćajnim gužvama i ove podatke koriste kako bi svoje korisnike efikasnije rutirali do njihovog odredišta.

Međutim, prosečne brzine kao mera intenziteta saobraćajnih gužvi su samo jedan parametar koji određuje stanje saobraćaja. XFCD (eXtended Floating Car Data) sistemi koriste i podatke sa drugih tipova senzora koji su dostupni u vozilu. Tako na primer, aktiviranje ABS sistema, ablendovanje svetlima ili korišćenje zvučnih signala predstavljaju indikatore nekih vanrednih saobraćajnih događaja i ako se kao takvi pridruže segmentima putne mreže na kojima su detektovani mogu dodatno opisati stanje u saobraćaju na tim segmentima putne mreže.

Kako bi koncept participatornog opažanja i korišćenja vozila kao mobilnih senzorskih čvorova generisao dovoljnu količinu podataka i u značajnom procentu pokrio putnu mrežu potrebno je masovno prihvatanje ovakvog sistema od strane vozača. To je i najveća mana XFCD sistema koji najčešće zahtevaju tesnu integraciju sa sistemima na

vozilu ili specifičan tip vozila. To drastično smanjuje broj potencijalnih korisnika ovakvog sistema, a samim tim i smanjuje pokrivenost putne mreže i pouzdanost ovako prikupljenih podataka. Iz tog razloga u ovoj disertaciji je istraživana mogućnost korišćenja jednog dodatnog senzora (osim GPS prijemnika) koji je široko dostupan na današnjim *smartphone* uređajima, a koji se može efikasno iskoristiti za detekciju saobraćajnih događaja koji značajno utiču na odvijanje saobraćaja. Radi optimalnog izbora tog dodatnog senzora prvo su klasifikovani relevantni saobraćajni događaji. Zajedničko za sve ove saobraćajne događaje je manifestacija sila značajnog intenziteta koje deluju na vozilo. Iz tog razloga, kao logičan izbor se nametnuo akceleracioni senzor koji je danas dostupan na praktično svakom *smartphone* uređaju.

U drugom delu ove disertacije su analizirane karakteristike izabranih saobraćajnih događaja koje se mogu snimiti akceleracionim senzorom i iskoristiti za njihovo prepoznavanje. Radi što efikasnijeg prepoznavanja saobraćajnih događaja predložen je i implementiran mehanizam efikasne analize podataka sa akceleracionog senzora koji je u potpunosti lokalizovan na samom mobilnom uređaju i za korisnika (vozača) potpuno transparentan. Detekcija i prikupljanje podataka o ovako detektovanim relevantnim saobraćajnim događajima je samo deo predloženog proaktivnog saobraćajnog informacionog servisa sa participatornim opažanjem. Ovako generisane informacije je potrebno redistribuirati korisnicima (vozačima) pravovremeno i u odgovarajućem obliku kako bi se pozitivno uticalo na svest vozača o stanju u saobraćaju ispred vozila. Radi demonstracije ovog koncepta implementiran je proaktivni saobraćajni navigacioni servis koji korisnicima nudi uslugu rutiranja na osnovu trenutnog stanja u saobraćaju, kao i uslugu dinamičkog rerutiranja ukoliko se stanje u saobraćaju na ruti izmeni tokom navigacije. Implementirani servis koristi informacije o prosečnim brzinama, kao i lokacije i tipove detektovanih saobraćajnih događaja prikupljene od korisnika kako bi formirao sliku o trenutnom stanju u saobraćaju na putnoj mreži koju pokriva.

Validacija predloženog sistema je izvršena merenjem sposobnosti sistema da pouzdano identifikuje različite tipove saobraćajnih događaja (manevara), kao i performanse implementirane mobilne klijentske aplikacije. Performanse mobilne aplikacije su ključni faktor u masovnom prihvatanju jednog ovakvog sistema od strane vozača, a samim tim i mogućnosti sistema da efikasno pokrije značajan procenat putne mreže. Zaključak implementacije proaktivnog saobraćajnog informacionog servisa sa participatornim opažanjem je da korišćenje samo jednog dodatnog (akceleracionog)

senzora uz GPS prijemnik može značajno da doprinese kreiranju potpunije slike o stanju u saobraćaju i da koncept participatornog opažanja primenjen na domen saobraćaja definitivno ima perspektivu u razvoju budućih saobraćajnih servisa.

7.2 Pravci daljeg istraživanja

Istraživanja započeta u ovoj doktorskoj disertaciji mogu biti nastavljena u dva pravca. Prvi pravac se odnosi na proširenja skupa senzora u vozilu sa kojih se prikupljaju podaci, dok bi drugi podrazumevao personalizovanu analizu stila vožnje i navika pojedinačnih vozača.

Iako akceleracioni senzor vrlo uspešno detektuje sve manevre koji se manifestuju značajnim silama koje deluju na vozilo ovaj pristup se ograničava na detekciju saobraćajnih događaja koji se mogu klasifikovati kao predincidentni. Znanje o statusu (aktiviranju i deaktiviranju) pojedinih sistema u vozilu može dodatno doprineti razumevanju neposredne okoline vozila. U ovoj disertaciji je na više mesta naglašavana masovnost kao preduslov uspešnosti sistema sa participatornim opažanjem. Korišćenje standardnih mobilnih uređaja sa standardnim integrisanim akceleracionim senzorom je u potpunosti sa ciljem masovne upotrebe implementiranog prototipa. Standardizacija OBDII interfejsa za komunikaciju sa ECU jedinicom vozila omogućava standardizaciju pristupa sistemima vozila i očitavanje na primer stanja svetlosne signalizacije (oborena ili duga svetla, svetla za maglu), aktiviranje brisača i sl. Ove informacije se mogu u predloženom konceptu iskoristiti za detekciju stanja i događaja u okolini vozila koji se ne manifestuju silama koje deluju na vozilo kao što su klimatski uslovi (magla, kiša) ili situacije u saobraćaju u kojima se koristi zvučna ili svetlosna signalizacija (ablendovanje).

Drugi potencijalni pravac daljeg istraživanja podrazumeva personalizaciju prikupljenih podataka u cilju formiranja profila pojedinačnih vozača. Ovde je bitno napomenuti da su anonimnost i privatnost vrlo bitna pitanja u sistemima sa participatornim opažanjem. Narušavanje anonimnosti otvara dodatne mogućnosti formiranja profila ponašanja konkretnih vozača u saobraćaju ali sa druge strane otvara mnoga pitanja bezbednosti prikupljenih podataka. Ova bezbednosna pitanja je bilo moguće efikasno zaobići u ovoj disertaciji primenom koncepta anonimnog prikupljanja podataka i održavanja sesije sa konkretnim korisnikom samo tokom trajanja jedne instance navigacije po zahtevanoj ruti.

8 Literatura

- Ankerst, M., M. M. Breunig, H.-P. Kriegel i J. Sander (1999). "OPTICS: ordering points to identify the clustering structure." SIGMOD Rec. **28**(2): 49-60.
- Ayala, D., L. Jie, O. Wolfson, N. Rishe i M. Tanizaki (2010). Communication Reduction for Floating Car Data-Based Traffic Information Systems. Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services (GEOPROCESSING), 2010 Second International Conference on.
- Beresford, A. R., Bacon, J. (2006). "Intelligent Transportation Systems." Pervasive Computing, IEEE **5**(4): 63-67.
- Birant, D. i A. Kut (2007). "ST-DBSCAN: An algorithm for clustering spatial-temporal data." Data & Knowledge Engineering **60**(1): 208-221.
- Bures, P. (2009). The architecture of traffic and travel information system based on protocol TPEG. 2009 Euro American Conference on Telematics and Information Systems: New Opportunities to increase Digital Citizenship. New York, NY, USA, ACM.
- Church, R. L., Sorensen, P. (1996). Integrating normative location models into GIS: problems and prospects with the p-median model. Spatial analysis: modelling in a GIS environment. P. Longley, Batty, M. Cambridge (UK), GeoInformation International: 167-183.
- Coleri, S., Cheung, S.Y., Varaiya, P. (2004). Sensor Networks for Monitoring Traffic. Forty-Second Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing. Unniversity of Illinois.
- COOPERS. (2010). "Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems." Retrieved 13.2.2012., from <http://www.coopers-ip.eu>.
- CVIS. (2010). "Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems." Retrieved 13.2.2012., from <http://www.cvisproject.org>.
- Das, S., L. Green, B. Perez i M. Murphy (2010). Detecting User Activities using the Accelerometer on Android Smartphones. TRUST Research Experiences for Undergraduates (TRUST-REU). University of California, Berkeley.
- Dashtinezhad, S., T. Nadeem, B. Dorohonceanu, C. Borcea, P. Kang i L. Iftode (2004). TrafficView: a driver assistant device for traffic monitoring based on car-to-car communication. IEEE 59th Vehicular Technology Conference, 2004. VTC 2004-Spring, 2004 IEEE. **5**: 2946-2950.
- Dikaiakos, M. D., Florides, A., Nadeem, T., Iftode, L. (2007). "Location-Aware Services over Vehicular Ad-Hoc Networks using Car-to-Car Communication." IEEE Journal on Selected Areas in Communications **25**(8): 1590-1602
- Eriksson, J., L. Girod, B. Hull, R. Newton, S. Madden i H. Balakrishnan (2008). The pothole patrol: using a mobile sensor network for road surface monitoring. Proceedings of the 6th international conference on Mobile systems, applications, and services. Breckenridge, CO, USA, ACM: 29-39.

- ERTRAC, E. R. T. R. A. C.-. (2010). "ERTRAC Strategic Research Agenda." Retrieved 10.08.2012., from ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/technology-platforms/docs/ertrac-sra-2010_en.pdf.
- Figueiredo, L., Jesus, I., Machado, J.A.T., Ferreira, J.R., Martins de Carvalho, J.L. (2001). Towards the development of intelligent transportation systems. IEEE Intelligent Transportation Systems. Oakland, CA , USA 1206-1211
- Frötscher, A., Scheider, T., Böhm, M. (2008). COOPERS project: Development of an ITS Architecture for Co-operative Systems on Motorways. 15TH World Congress on ITS. New York.
- Fuchs, S., Rass, S., Lamprecht, B., Kyamakya, K. (2007). Context-Awareness and Collaborative Driving for Intelligent Vehicles and Smart Roads. 1st International Workshop on ITS for an Ubiquitous ROADS on 1st Global Information Infrastructure Symp. (GIIS 07), IEEE CS Press: 1-6.
- Gatalsky, P., N. Andrienko i G. Andrienko (2004). Interactive analysis of event data using space-time cube. Eighth International Conference on Information Visualisation: 145-152
- Gil, G., A. de Jesús i J. Lopéz (2012). Comparing Features Extraction Techniques Using J48 for Activity Recognition on Mobile Phones Distributed Computing and Artificial Intelligence. S. Omatu, J. F. De Paz Santana, S. R. González et al, Springer Berlin / Heidelberg. **151**: 141-150.
- Gjoreski, H., M. Gams i I. Chorbev (2010). 3-Axial Accelerometers Activity Recognition. ICT Innovations 2010.
- Hall, M., E. Frank, G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann i I. H. Witten (2009). The WEKA data mining software: an update. S. E. Newsletter. **11**: 10-18.
- Hallé, S. i B. Chaib-draa (2005). "A collaborative driving system based on multiagent modelling and simulations." Transportation Research Part C: Emerging Technologies **13**(4): 320-345.
- Hull, B., V. Bychkovsky, Y. Zhang, K. Chen, M. Goraczko, A. Miu, E. Shih, H. Balakrishnan i S. Madden (2006). CarTel: a distributed mobile sensor computing system. Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems. Boulder, Colorado, USA, ACM: 125-138.
- Jajac, N., B. Predić i D. Stojanović (2012). Detekcija aktivnosti korisnika korišćenjem pametnih telefona sa akceleracionim senzorom ETTRAN. Zlatibor, Srbija, Društvo za elektroniku, telekomunikacije, računarstvo, automatiku i nuklearnu tehniku.
- Kawahara, Y., H. Kurasawa i H. Morikawa (2007). Recognizing user context using mobile handsets with acceleration sensors. Intl. Conf. on Portable Information Devices, PORTABLE'07. Orlando, FL, USA, IEEE.
- Kristian Torp, H. L. (2005). Floating Car Data for Traffic Monitoring. 5th European Congress and Exhibition of Intelligent Transport Systems and Services. Hannover.
- Lara, Ó. D., A. J. Pérez, M. A. Labrador i J. D. Posada (2011). "Centinela: A human activity recognition system based on acceleration and vital sign data." Pervasive and Mobile Computing(0).

- Lequerica, I., M. Garcia Longaron i P. M. Ruiz (2010). "Drive and share: efficient provisioning of social networks in vehicular scenarios." Communications Magazine, IEEE **48**(11): 90-97.
- Maguire, D. i R. Frisby (2009). Comparison of Feature Classification Algorithms for Activity Recognition Based on Accelerometer and Heart Rate Data. 9th. IT & T Conference. Dublin Institute of Technology, Dublin, Ireland.
- Maguire, D. J., Smith, R., Jones, S. (1993). GIS on the move: some transportation applications of GIS. Thirteenth Annual ESRI User Conference. **3**: 39-46.
- Mannini, A. i A. M. Sabatini (2010). "Machine Learning Methods for Classifying Human Physical Activity from On-Body Accelerometers." Sensors 2010 **10**(2): 1154-1175.
- McCall, J. C., O. Achler, M. M. Trivedi, J. B. Haue, P. Fastrez, D. Forster, J. D. Hollan i E. Boer (2004). A collaborative approach for human-centered driver assistance systems. Intelligent Transportation Systems, 2004. Proceedings. The 7th International IEEE Conference on.
- Messelodi, S., C. M. Modena, M. Zanin, F. G. B. De Natale, F. Granelli, E. Betterle i A. Guarise (2009). "Intelligent extended floating car data collection." Expert Systems with Applications **36**(3, Part 1): 4213-4227.
- Miller, H. J., Shaw, S. L. (2001). Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications (Spatial Information Systems). New York, Oxford University Press.
- Morito, T., T. Hayashi i H. Morikawa (2008). User Posture and Movement Estimation Based on 3-Axis Acceleration with a Sensor Network. INRETS Joint Symposium on Electronics for Secure Life. University of Tokyo - INRIA - Ecole des Mines Paris.
- Perttunen, M., O. Mazhelis, F. Cong, M. Kauppila, T. Leppänen, J. Kantola, J. Collin, S. Pirttikangas, J. Haverinen, T. Ristaniemi i J. Riekkii (2011). Distributed Road Surface Condition Monitoring Using Mobile Phones. C.-H. Hsu, L. Yang, J. Ma and C. Zhu, Springer Berlin / Heidelberg. **6905**: 64-78.
- Prashanth Mohan, V. N. P., Ramachandran Ramjee (2008). Nericell: rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones. 6th ACM conference on Embedded network sensor systems (SenSys '08). Raleigh, North Carolina, USA: 323-336.
- Predic, B. i D. Stojanovic (2012). "Localized Processing and Analysis of Accelerometer Data in Detecting Traffic Events and Driver Behaviour." Journal of Universal Computer Science **18**(9): 1152-1176.
- Predić, B., D. Stojanović i S. Đorđević-Kajan (2010). Akceleracioni senzori kao izvori kontekstnih informacija u inteligentnim transportnim sistemima. YuINFO. Kopaonik, eDrustvo.
- Predić, B., D. Stojanović i S. Đorđević-Kajan (2010). Traffic Events Detection using Extended Floating Car Data. X Triennial International SAUM Conference on Systems, Automatic Control and Measurements. Nis, SAUM - Association of Serbia for Systems Automatic Control and Measurements: 207-211.

- Raines, A., Rowley, P. (2008). Coordinated traffic management through data exchange. Road Transport Information and Control - RTIC 2008 and ITS United Kingdom Members' Conference, IET. Manchester, UK 1-4.
- Roganovic, M., D. Stojanovic i B. Predic (2011). A Real-Time Traffic Information Service for Efficient Navigation and Transport Management. 4th AGILE Conference on Geographic Information Science. Utrechth, Netherlands.
- Roganović, M., D. Stojanović i B. Predić (2011). Određivanje dinamičkog vremena puta po putnoj mreži zasnovano na praćenju vozila. YuInfo. Kopaonik, eDruštvo.
- SAFESPOT. (2010). "eSafety Cooperative Systems for Road Transport." Retrieved 13.2.2012., from <http://www.safespot-eu.org/>.
- Santa, J., Gomez-Skarmeta, A.F. (2009). "Sharing Context-Aware Road and Safety Information." Pervasive Computing, IEEE 8(3): 58-65.
- Schäfer, R. P., K. U. Thiessenhusen i P. Wagner (2002). A Traffic Information System by Means of Real-time Floating-car Data. ITS World Congress. Chicago, USA.
- Spasojević, A., D. Stojanović i B. Predić (2012). Semantičko označavanje trajektorija mobilnih objekata. YuInfo. Kopaonik, eDruštvo: 141-146.
- Stojanovic, D., M. Roganovic i B. Predic (2010). Collaborative mobile information system for collection and delivery of traffic information. Proceedings of the 12th International Conference on Information Integration and Web-based Applications Services. Paris, France, ACM: 795-798.
- Stopher, P. R., Meyburg, A. H. (1975). Urban transportation modelling and planning, Lexington Books.
- Thiagarajan, A., Ravindranath, L., LaCurts, K., Madden, S., Balakrishnan, H., Toledo, S., Eriksson, J. (2009). VTrack: Accurate, energy-aware road traffic delay estimation using mobile phones. 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Berkeley, California, USA, Association for Computing Machinery.
- Toulminet, G., Boussuge, J., Laugeau, C. (2008). Comparative synthesis of the 3 main European projects dealing with Cooperative Systems (CVIS, SAFESPOT and COOPERS) and description of COOPERS Demonstration Site 4. 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2008. ITSC 2008. . Beijing, IEEE: 809-814.
- Waters, N. M. (1999). Transportation GIS: GIS-T. Geographical information systems: Principles, techniques, management and applications. P. A. Longley, Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rhind, D.W. . New York, Wiley: 827-844.
- Weiss, G. M. i J. W. Lockhart (2011). Identifying user traits by mining smart phone accelerometer data. Proceedings of the Fifth International Workshop on Knowledge Discovery from Sensor Data. San Diego, California, ACM: 61-69.
- Wendykier, P. (2011). "JTransforms." Retrieved 15.06.2012., from <https://sites.google.com/site/piotrwendykier/software/jtransforms>.

9 Sažetak

DETEKCIJA I PROAKTIVNA ISPORUKA INFORMACIJA O SAOBRAĆAJNIM DOGAĐAJIMA U MOBILNIM INFORMACIONIM SISTEMIMA ZA PODRŠKU NAVIGACIJI I TRANSPORTU

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije je korišćenje učesnika u saobraćaju (vozača, vozila i mobilnih uređaja sa integrisanim sensorima korišćenih u navigaciji) kao izvora podataka o stanju u saobraćaju u svrhu pružanja usluge dinamičke navigacije i efikasnijeg rutiranja po putnoj mreži i upravljanja saobraćajem. Motivacija za ovaj pristup detekciji i korišćenju informacija o dinamičkom stanju u saobraćaju se nalazi u neadekvatnosti i ekonomskoj neisplativosti pokrivanja veće putne mreže tradicionalnim statičkim tipovima saobraćajnih senzora. Pod tradicionalnim saobraćajnim sensorima se podrazumevaju statički tipovi senzora koji se prilikom izgradnje trajno ugrađuju u putnu infrastrukturu, kao što su induktivne petlje, kamere itd.

Koncept participatornog opažanja nije nov i poslednjih par godina nalazi primenu i u domenu saobraćaja. Popularnost socijalnih mreža nije zaobišla ni ovaj domen, tako da danas postoji veliki broj mobilnih socijalnih mreža namenjenih prvenstveno vozačima na kojima oni mogu razmenjivati podatke o stanju u saobraćaju. Ovakav model kolaboracije se danas najčešće svodi na manuelnu razmenu lokacija saobraćajnih patrola.

Floating Car Data (FCD) pristup eliminiše vozača iz procesa razmene podataka. Anonimnim prikupljanjem podataka o trenutnim brzinama od većeg broja vozila (mobilnih uređaja) formira se slika o zagušenju u saobraćaju i ta informacija koristi dalje u raznim informacionim servisima. Extended Floating Car Data (XFCD) koncept, kojim se ova disertacija bavi, proširuje skup podataka koji se prikupljaju podacima sa različitih senzora u vozilu. U ovoj disertaciji je posebna pažnja posvećena jednom dodatnom tipu senzora koji je široko dostupan na praktično svim tipovima mobilnih uređaja koje danas vozači koriste u navigaciji, akcelometru. Specifičnost ovog tipa senzora se ogleda u tome da se analizom sila koje deluju na mobilni uređaj (vozilo) mogu detektovati razni manevri vozilom koje je nemoguće detektovati samo GPS prijemnikom. U disertaciji su prikazani metodi analize podataka sa akcelerometra lokalizovani na samom mobilnom uređaju i proaktivni saobraćajni servis koji koristi ove podatke kako bi pravovremeno upozorio ostale vozače na opasna stanja i događaje u saobraćaju na njihovoj ruti. Količina podataka

koji se dobijaju sa akcelerometra uslovljava lokalizovanu analizu, a proaktivnim servisom se preventivno utiče na svest vozača u cilju povećanja bezbednosti.

10 Summary

DETECTION AND PROACTIVE DELIVERY OF TRAFFIC INFORMATION IN MOBILE INFORMATION SYSTEMS SUPPORTING NAVIGATION AND TRANSPORT

The research subject of this dissertation is using traffic participants (drivers, vehicles and mobile devices inside vehicles) as sources of traffic data further used in providing dynamic navigation service and traffic management. Motivation for this approach to detecting and disseminating traffic data is found in inefficiency of adequately covering large road network with traditional traffic sensors. Traditional traffic sensors include inductive loops, cameras etc. which are static and permanently integrated with traffic infrastructure during construction.

Participatory sensing concept is not new and is applied in the traffic domain from some years now. Widely popular social network found their way into traffic domain too, and today there are many commercially available social networks gathering drivers and allowing them to exchange information. This model of information exchange usually amounts to manual input of messages which are redistributed to other drivers by the system.

Floating car Data (FCD) concept eliminates the driver from the information input loop. By anonymously collecting data about current speeds of a large number of vehicles information about traffic congestions can be constructed and used in various types of information systems. Extended Floating car Data (XFCD) concept, this dissertation deals with, expands dataset collected from traffic participants with data from various sensors inside vehicle. This dissertation especially focuses on one particular type of sensor commonly found today integrated with mobile devices used by drivers for navigation, accelerometer. Most important characteristic of this type of sensor is its capability to detect relevant vehicle maneuvers by recording force patterns that act on the vehicle (mobile device) during these maneuvers. GPS receiver traditionally used in FCD systems is typically not capable to detect these types of maneuvers. This dissertation demonstrates accelerometer data analysis methods localized on mobile device tasked with detecting relevant traffic events (vehicle maneuvers). This information collected from participating vehicles is further used in implemented prototype of proactive traffic information service that uses this data to timely warn drivers about hazardous traffic events and conditions existing on their navigation route. Localised analysis of accelerometer device on mobile devices used by the drivers is conditioned by the characteristics of accelerometer data, its sheer volume, and implemented prototype of proactive traffic information service acts preemptively by increasing drivers' situational awareness of traffic conditions ahead of them.

11 Biografija

Bratislav Predić je rođen 9. februara 1978. godine u Nišu. Osnovnu školu "Ratko Vukićević" i gimnaziju "Bora Stanković" (prirodno-matematički smer) završio je u Nišu sa odličnim uspehom. Elektronski fakultet u Nišu upisao je 1997. godine. Diplomirao je maja 2003. godine na smeru Računarska tehnika i informatika sa prosečnom ocenom 9,46 i ocenom 10 na diplomskom radu "XML tehnologije za razmenu i prikaz prostornih podataka". Za najbolje izrađen diplomski rad u školskoj 2002/2003. godini iz oblasti Automatika, Računarska tehnika i informatika nagrađen je poveljom "Dušan Mitrović". Magistarske studije upisao je školske 2003/4. godine na smeru Računarska tehnika i informatika. Sve predviđene ispite položio je sa ocenom 10. Magistarsku tezu sa naslovom „Primena konteksta u mobilnim geografskim informacionim sistemima za praćenje pokretnih objekata“ odbranio je 17. jula 2008. godine čime je stekao naučno zvanje magistar tehničkih nauka.

U CG&GIS laboratoriji Elektronskog fakulteta u Nišu je angažovan kao saradnik istraživač, stipendista Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine, u periodu od jula 2003. do marta 2004. godine na projektu "Geografski informacioni sistem za podršku funkcionisanju lokalne samouprave zasnovan na Internet/Web tehnologijama".

Marta 2004. godine izabran je u zvanje asistenta-pripravnika na Katedri za Računarstvo, a reizabran 15. novembra 2008. godine i učestvuje u realizaciji auditivnih i laboratorijskih vežbi iz predmeta baze podataka, operativni sistemi, arhitekture i projektovanje softvera, geografski informacioni sistemi, elektronsko poslovanje, računarske mreže i mobilni i bežični informacioni sistemi. 14. aprila 2011. godine je izabran u zvanje asistenta.

Oblasti njegovog interesovanja su: geografski informacioni sistemi, mobilni i bežični informacioni sistemi, lokaciono zasnovani servisi, sveprisutno i računarstvo zasnovano na kontekstu, primena GIS-a u transportnim informacionim sistemima. Autor je i koautor 1 poglavlja u knjizi međunarodnog značaja, 8 radova u međunarodnim časopisima (od toga 4 u časopisima sa SCI liste), 15 radova saopštenih na skupovima međunarodnog značaja i 23 rada saopštena na skupovima nacionalnog značaja publikovanih u odgovarajućim zbornicima radova.