Praćenje vozila u prometnoj mreži pomoću Bluetooth signala

Novosel, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:357449

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Domagoj Novosel

PRAĆENJE VOZILA U PROMETNOJ MREŽI POMOĆU BLUETOOTH SIGNALA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 23. ožujka 2017.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Mobilni komunikacijski sustavi**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 3991

Pristupnik: **Domagoj Novosel (0119012006)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Praćenje vozila u prometnoj mreži pomoću Bluetooth signala**

Opis zadatka:

Detaljno opisati komunikacijski protokol Bluetooth i naznačiti njegova ograničenja u vidu brzine prijenosa i dometa. Opisati sustav za posrednu detekciju vozila pomoću Bluetooth signala i sustav koji zapisuje podatke o detektiranim vozilima u cilju daljnje analize. Navesti trenutno dostupne komercijalne sustave koji pružaju mogućnost praćenja vozila u prometnoj mreži pomoću Bluetooth signala. Navesti smjernice za izradu prometnog modela grada iz prikupljenih podataka o kretanju vozila. Opisati cjeloviti sustav nadzora cestovnog prometa integracijom više senzorskih tehnologija za detekciju i praćenje kretanja vozila u prometnoj mreži.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

PRAĆENJE VOZILA U PROMETNOJ MREŽI POMOĆU BLUETOOTH SIGNALA

VEHICLE TRAFFIC SURVEILLANCE USING BLUETOOTH SIGNAL

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Student: Domagoj Novosel, 0119012006

Zagreb, rujan 2017.

PRAĆENJE VOZILA U PROMETNOJ MREŽI POMOĆU BLUETOOTH SIGNALA

SAŽETAK

Bluetooth senzori prikupljaju Bluetooh signal od vozila koja prolaze prometnicom te bilježe njihove MAC adrese, vrijeme prve i posljednje detekcije, kao i tip uređaja koji proizvodi Bluetooth signal. Prva točka detektiranja odgovara podrijetlu i posljednja točka detektiranja odgovara podrijetlu odredišta. Prikupljeni podaci se potom obrađuju s ciljem razvijanja pouzdanih izvorišno-odredišnih (O-D) matrica i prometnih modela. Jedni od najranijih komercijalnih sustava koji su koristili Bluetooth signal za identifikaciju vozila bili su BLINDS i Traffax. Zahvaljujući povećanju uporabe Bluetooth tehnologije u vozilima i *gadgetima* došlo je do velike promjene u mogućnosti nadzora prometnog sustava jer ova tehnologija predstavlja jeftin i pouzdan izvor prikupljanja podataka o prometu.

Ključne riječi: Bluetooh senzori, prometni model, MAC, O-D matrica

SUMMARY

The Bluetooth detectors collect passing vehicles Bluetooth signals and record MAC ID, time of the first and last detection, and type of the device that produces Bluetooth signal. The first detection site corresponds to the origin site and the last detection corresponds to the destination site. Collected data is then processed to develop reliable origin-destination (O-D) matrices and traffic models. Among the earliest commercial systems that used Bluetooth signal for detecting vehicles were BLINDS and Traffax. With increasing Bluetooth technology in vehicles and personal gadgets, came to major changes in the traffic surveillance systems, because this technology represents a cheaper and yet reliable source for traffic data collection.

Keywords: Bluetooth detectors, traffic model, MAC, O-D matrix

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Bluetooth komunikacijski protokol 3
2.1. Pojam i razvoj komunikacijskog protokola Bluetooth 3
2.2. Osnovne karakteristike Bluetootha 6
3. Dizajn sustava za detekciju vozila i spremanje podataka o kretanju vozila 9
3.1. Bluetooth u inteligentnim transportnim sustavima 9
3.2. Dizajn i spremanje podataka inteligentnih transportnih sustava 12
4. Pregled komercijalnih sustava koji pružaju funkcionalnost detekcije Bluetooth signala iz vozila ... 17
5. Mogućnost izrade prometnog modela iz prikupljenih podataka pomoću Bluetooth senzora 24
6. Integracija drugih senzorskih tehnologija u sustavima za nadzor prometa 30
7. Zaključak 32
Literatura 34
Popis slika: 36
Popis tablica: 37

1. Uvod

Inteligentni transportni sustavi u prometu sve se više nastoje uvesti u većinu razvijenih zemalja da bi se u konačnici olakšalo odvijanje prometa te naravno poboljšala sigurnost prometa. Većina razvijenijih zemalja već je uvelike uhodana s korištenjem ITS-a, i to ne samo u prometu. ITS je novija tehnologija koja se koristi u raznim granama i aspektima kako bi unaprijedila i ubrzala razne složene procese. Sve veći zahtjevi i javna očekivanja točnih informacija o prometu za upravljanje prometnim tijekovima doveli su do razvoja implementacije infrastrukture za nadgledanje prometa velikih razmjera. Obično je u to uključeno korištenje induktivnih detektora petlji, mikrovalnih senzora i relativno skupih video kamera. Elektronički uređaji na vozilima kao i potrošački elektronički uređaji nastaju kao alternativni modaliteti za promatranje prometa kako bi nadopunili postojeću infrastrukturu za praćenje i upravljanje prometom, pa ta evoluirajuća infrastruktura pruža prednost troškovno učinkovitih podataka u stvarnom vremenu iskorištavanjem postojeće telekomunikacijske infrastrukture kao što je mreža mobilnih telefona. Bežične tehnologije koriste se za prijenos podataka na veće ili manje udaljenosti različitim brzinama uz različitu kvalitetu, a jedna od tehnologija koja spada u ovu skupinu je i Bluetooth.

Prvi dio ovog rada odnosi se na pojam i razvoj komunikacijskog protokola Bluetooth, kao i osnovne karakteristike istog. Tako Bluetooth predstavlja bežični protokol za razmjenu podataka na kratkim udaljenostima između fiksnih i/ili mobilnih uređaja. Bluetooth bežična tehnologija ima sposobnost eksplicitnog reduciranja interferencije između bežičnih tehnologija dijeleći 2,4 GHz spektar. Bluetooth bežična tehnologija izgrađena je vodeći računa o sigurnosti, pa postoje specijalne interesne grupe koje rade s članovima da bi eliminirali pitanja i nastavili ažuriranje specifikacija koje bi uključile sigurnosna poboljšanja.

Drugi dio rada posvećen je Bluetoothu u inteligentnim transportnim sustavima, te dizajnu sustava za detekciju vozila i spremanje podataka o kretanju vozila. Inteligentni transportni sustavi omogućuju transparentnost informacija, bolje upravljanje te poboljšani odziv prometnog sustava čime on dobiva atribute inteligentnog, a označava sposobnost adaptivnog djelovanja u promjenjivoj okolini, pri čemu je potrebno prikupiti dovoljno podataka i obraditi ih u realnom vremenu. Još 2008. godine, istraživači su predviđali osnovne komponente sustava Bluetooth senzorskog sustava za inteligentne prometne sustave koji su se od tada

razvili. Ta ranija istraživanja obično su se usredotočila na aplikacije za procjenu vremena putovanja vozila i procjene odredišta, odnosno destinacije na urbanim dijelovima i na autocestama. Premda je široka rasprostranjenost komercijalnog nadzora pomoću Bluetootha nad prometom još uvijek u svojim počecima, u današnje vrijeme implementiran je niz pilot programa različitih skala koji ga koriste.

Treći dio rada odnosi se na komercijalne sustave koji koriste Bluetooth za detekciju vozila od ranih početaka sve do danas. Tako je jedan od najranijih komercijalnih sustava koji je koristio Bluetooth za identifikaciju vozila za procjenu vremena putovanja bio BLIDS, a isti je uveden početkom 2008. godine, s više od pedeset sustava postavljenih u prometnoj mreži.

Četvrti dio rada posvećen je tehnologijama Bluetooth prometnih senzora te mogućnostima za dinamičko modeliranje prometa. Gradovi sve više instaliraju sofisticirane senzorske mreže kako bi automatski i rutinski prikupljali i arhivirali vremenski promjenjive prometne podatke. Takvi senzori široko se razlikuju po načelima djelovanja, što rezultira raznovrsnim nizom potencijalnih podataka. Svaka vrsta podataka posjeduje prednosti koje mogu iskoristiti određene vrste aplikacija za upravljanje prometom.

Posljednji dio rada naglasak stavlja na integraciju drugih senzorskih tehnologija u sustavima za nadzor prometa, odnosno na mogućnosti za nove aplikacije. Postoji potencijal za značajne prednosti i koristi kroz integraciju podataka o prometu s drugim vrstama podataka, a ta vrsta tehnologija može uključivati praćenje stanja okoliša uz pomoć senzora za okoliš, zatim meteoroloških stanica, stanica kakvoće zraka, te sustava ranog upozoravanja na poplave, kao i praćenje stanja infrastrukture uz pomoć senzora za mjerenje otpora i svjetlovodnih senzora.

2. Bluetooth komunikacijski protokol

2.1. Pojam i razvoj komunikacijskog protokola Bluetooth

Bežične tehnologije koriste se za prijenos podataka na veće ili manje udaljenosti različitim brzinama uz različitu kvalitetu, a jedna od tehnologija koja spada u ovu skupinu je i Bluetooth, standard koji definira prijenos raznih vrsta podataka na relativno malim udaljenostima.

Bluetooth predstavlja bežični protokol za razmjenu podataka na kratkim udaljenostima između fiksnih i/ili mobilnih uređaja [1]. Bluetooth je dobio naziv po Haroldu Bluetooth-u koji je bio poznat po svojim mogućnostima diplomatskih pregovora, gdje je često uspijevao napraviti visoko razumijevanje i komunikaciju između više strana s različitim interesima [2]. Naime, on je uspio pomiriti zaraćene narode na području današnje Danske, Švedske i Norveške, te uspostavio ujedinjeno kraljevstvo Dansku i prihvatio kršćanstvo.

Sam naziv "*Bluetooth*" odabran je zato što ta tehnologija omogućuje komunikaciju različitih uređaja, odnosno prijenos podataka između mobilnih telefona, računala i drugih uređaja na kratkim udaljenostima. Također, važno je reći da je Bluetooth zapravo radijska tehnologija kratkog dometa, dakle od 1 do 100 metara, koju je razvio Ericsson, a kasnije i druge kompanije.

Naime, Bluetooth specifikaciju razvili su 1994. godine Jaap Haarsten i Sven Mattisson, zaposlenici firme „Ericsson Mobile Platforms“ u Švedskoj, a udruga Bluetooth SIG (Special interest group), koju su osnovale tvrtke Ericsson, IBM, Intel, Toshiba i Nokia, obradila je, te javno objavila specifikaciju 20. ožujka 1998. godine.

Prva inačica protokola bila je Bluetooth 1.0, koja je ubrzo proširena određenim nadopunama na inačicu Bluetooth 1.0B, međutim, zbog brojnih problema u tim specifikacijama, proizvođači su imali problema s omogućavanjem međusobne komunikacije njihovih uređaja [1]. Nova inačica 1.1., koja je dobila oznaku IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) standarda 802.15.1-2002. ispravila je mnoge pogreške koje su pronađene u prethodnim inačicama, a slijedeća inačica Bluetooth 1.2 imala je još značajnija poboljšanja u vidu bržeg povezivanja i otkrivanja uređaja, veće brzine prijenosa podataka, bolje kvalitete govora preko audio kanala, te uvedene provjere toka podataka. Godine 2004., točnije 10.

studenog, objavljena je inačica Bluetooth 2.0, a osnovna razlika u odnosu na prethodnu je bilo uvođenje bržeg prijenosa podataka, što je postignuto korištenjem tehnologije EDR (*Enhanced Data Rate*), čija je nominalna brzina oko 3 Mbit/s, a prednosti koje je donijela su tri puta veća brzina prijenosa podataka, smanjena složenost korištenja više simultanih veza te smanjena upotreba energije [1].

Nova specifikacija Bluetooth 2.1. objavljena je 26. srpnja 2007.godine, a sadržavala je obilježja pružanja više informacija tijekom procedure traženja uređaja, smanjenu potrošnju energije, jednostavniju razmjenu ključeva za kriptiranje, poboljšanje spajanja Bluetooth uređaja uz veću sigurnost, te mogućnost sinkronog i asinkronog prijenosa preko iste logičke veze.

Dodatna poboljšanja donijele su specifikacije Bluetooth 3.0 i Bluetooth low energy (BLE) iz 2009. godine, pa je tako prva omogućila uporabu fizičkog ili MAC sloja za prijenos podataka o Bluetooth profilu, slanje podataka bez uspostavljanja eksplicitnih kanala, otkrivanje veličine ključa za kriptiranje (uvođenje standardne naredbe za upit o duljini ključa za kriptiranje na kriptiranoj vezi), te dodatni nadzor energije u skladu s uporabom uređaja, dok je druga specifikacija omogućila komunikaciju s informacijskim čvorovima, upravljanje topologijom, te prijenos audio i video signala uz visoku kvalitetu. Bluetooth v4.0 inačica je koja uključuje Classic Bluetooth, Bluetooth high speed i Bluetooth low energy protokole. Bluetooth high speed temeljen je na Wi-Fi, a Classic Bluetooth nasljeđuje Bluetooth protokole. Bluetooth low energy je podskup Bluetootha v4.0 sa potpuno novim protokolima za brzu izgradnju jednostavnih veza, poznat kao Wibree, a verzija je usvojena u prosincu 2009. godine.

Slika 1. Povezivanje uređaja Bluetooth vezama [1]

Slika 1. prikazuje povezivanje uređaja Bluetooth vezama. Naime, standard Bluetooth i komunikacijski protokol primarno je dizajniran za upotrebu na uređajima niske cijene i male potrošnje energije kako bi im omogućio međusobnu komunikaciju, a najčešće se koristi za slijedeće namjene:

1) bežična komunikacija između mobilnih uređaja i slušalica
2) bežična mreža između osobnih računala u uvjetima kada je dostupna mala širina pojasa
3) bežična komunikacija s ulaznim i izlaznim uređajima osobnih računala (miš, tipkovnica, printer)
4) prijenos datoteka i podataka između uređaja OBEX (*Object Exchange*) protokolom
5) zamjena za tradicionalne žičane komunikacije u ispitnoj opremi, GPS uređajima, medicinskoj opremi, Bar Code skenerima i slično
6) nadzor kod sustava koji koriste IR (*Infrared radiation*) tehnologije

7) programi koji ne zahtijevaju veliku širinu prijenosnog pojasa te nisu ovisni o kabelskim vezama
8) bežični most između industrijskih *Ethernet* mreža
9) bežični nadzor igraćih konzola
10) pristup Internetu na osobnom računalu upotrebom mobilnog uređaja kao modema. [1]

2.2. Osnovne karakteristike Bluetootha

Bluetooth uređaji rade u frekvencijskom pojasu od 2,4 GHz do 2,4835 GHz tj. u takozvanom industrijsko-znanstveno-medicinskom pojasu (ISM - *Industrial Scientific and Medical*), a budući da se korištenje ISM pojasa ne plaća, spektar je napučen korisnicima, pa se radio sustavi moraju projektirati tako da se uspješno nose sa problemima interferencije i promjene jakosti signala. Ti problemi se rješavaju s tehnikom frekvencijskog preskakivanja sa raspršenim spektrom (FHSS - *Frequency Hopping Spread Spectrum*). Bluetooth prijenos ostaje samo na danoj frekvenciji za kratko vrijeme a u slučaju interferencije podaci će biti ponovno kasnije poslani kada signal promijeni drugi kanal sa manjom interferencijom. Kod FHSS modulacije definiraju se frekvencijski skokovi unutar spektra gdje se pod skokovima misli na ekstremno brze promjene frekvencija na kojima se prenosi podaci. Odašiljač šalje kratke nizove podataka na jednoj frekvenciji neko vrijeme a potom se prebacuje na drugu frekvenciju pri čemu odašiljač i prijemnik moraju biti sinkronizirani prema slijedu preskakivanja kako bi održali logički kanal jer u suprotnom dolazi do gubitka podataka. Bluetooth tehnologija uz FHSS tehniku najčešće koristi Gussovu frekvencijsku modulaciju signala.

Bluetooth bežična tehnologija je tzv. AFH (*Adaptive Frequency Hopping*) i ima sposobnost eksplicitnog reduciranja interferencije između bežičnih tehnologija dijeleći 2,4 GHz spektar. AFH djeluje unutar spektra koristeći dostupnu frekvenciju, a to se postiže otkrivanjem drugih uređaja u spektru i izbjegavanjem frekvencija koje oni koriste. Ovo "prilagodljivo preskakanje" (*adaptive hopping*) omogućuje učinkovitiji prijenos unutar spektra, čime se korisniku osiguravaju bolje performanse, čak ako koriste i druge tehnologije zajedno s Bluetooth bežičnom tehnologijom [2].

Što se tiče dometa, koriste se tri radija, pa tako postoje radio klase 3, koji ima domet do 5 metara, radio klase 2, koji se uglavnom koristi u mobilnim uređajima, te ima domet do 10 metara i radio klase 1, koji se koristi primarno u industriji, a ima domet do 100 metara.

Naime, Bluetooth bežična tehnologija je dizajnirana za korištenje vrlo niske potrošnje energije, pa pojačana specifikacija dozvoljava da radio smanji snagu ako je neaktivan.

Bluetooth bežična tehnologija izgrađena je vodeći računa o sigurnosti, pa postoje specijalne interesne grupe koje rade s članovima da bi eliminirali pitanja i nastavili ažuriranje specifikacija koje bi uključile sigurnosna poboljšanja. Specijalne interesne grupe također potiču potrošače da koriste dugačke alfanumeričke PIN-ove, da uparivanje uređaja rade u privatnosti i da drže uređaje nevidljivima ako se ne koriste, kako bi se smanjila potencijalna ranjivost [2].

Značajne su dvije glavne vrste fizičkih veza: sinkrona veza za prijenos govornog signala visoke kvalitete (SCO - *Synchronous Connection Oriented link*) i asinkrona veza za prijenos korisničkih i upravljačkih informacija (ACL - *Asynchornous Connectionless link*). Sam izbor fizičke veze ovisi o vrsti podataka koji će se prenositi. Sinkrona veza orijentirana je na spajanje, te podržava veze tipa od točke do točke, upotrebljava se za prijenos govora visoke kvalitete uporabom paketa HV (*High quality Voice*), a prijenos se može ostvariti i uporabom DV (*Data Voice*) paketa kojima se prenose podaci i govor. Kod samog prijenosa sinkronom vezom moguće je upotrijebiti FEC (*Forward Error Correction*) tehniku kodiranja unaprijed ispravljanja pogrešaka, čija je svrha upotrebe pri podatkovnom prijenosu zapravo smanjenje broja ponovljenih slanja [3]. S druge strane, ACL veza podržava simetrične i nesimetrične *point-to-multipoint* veze, kojima se prenose korisničke ili upravljačke informacije u jednom ili nekoliko vremenskih odsječaka (1, 3 ili 5), sa ili bez promjene FEC tehnike kodiranja, a podatkovni paketi su protokolom automatske provjere i ponovnog slanja (ARQ - *Auto Retransmission Query*) [3].

Organizacija Bluetooth definira protokole koje Bluetooth koristi, a oni se dijele u četiri osnovne kategorije:

1) jezgreni Bluetooth protokoli (Bluetooth Radio, Baseband, LMP, L2CAP, SDP)
2) protokoli za zamjenu kabela (RFCOMM)
3) protokoli za nadzor telefonije (TSC BIN, AT commands)
4) preuzeti protokoli (PPP, UDP/TCP/IP, WAP, vCARD, vCAL, OBEX i drugi). [1]

Bluetooth profili omogućavaju različit način komuniciranja između Bluetooth uređaja, a predstavljaju učinkovita bežična sučelja specifikacija za komunikaciju između Bluetooth

uređaja. Bluetooth uređaji moraju biti kompatibilni sa skupom profila koji omogućuju željene Bluetooth usluge. Značajna su četiri glavna profila:

1) profil osnovnog pristupa GAP (*Generic Acces profile*)
2) profil serijskog porta (*Serial Port Profile*)
3) profil aplikacije za otkrivanje usluge SDAP (*Service Discovery Application Profile*)
4) profil osnovne zamjene objekata GOEP (*Generic Object Exchange Profile*).

Profil osnovnog pristupa, odnosno GAP, definira kako se dvije nepovezane BT jedinice pronalaze i uspostavljaju vezu, a taj profil definira osnovne operacije kojima se služe svi ostali profili koji koriste GAP. Profil serijskog porta definira način kako ostvariti virtualni serijski *port* na dvije jedinice (uređaja) i povezati ih preko Bluetooth-a, te taj profil ovisi o GAP-u. Profil aplikacije za otkrivanje usluga, odnosno SDAP, definira otkrivanje usluga dostupnih BT jedinici te traži specifične i poznate usluge kao i one koje su općenite. SDAP sadrži aplikaciju koja je potrebna u BT jedinici za pronalaženje usluga, a ista komunicira sa protokolom za otkrivanje usluga (*Service Discovery Protocol*) koji šalje i prima upite prema i od ostalih BT jedinica. Profil osnovne zamjene objekata, odnosno GOEP, definira skup protokola i procedura koje koriste aplikacije koje se bave slanjem, primanjem i zamjenom objekata. Važno je naglasiti da se veliki broj korisničkih modela temelji na ovom profilu, a tipične BT jedinice koje koriste ovaj profil su prijenosna računala, PDA-ovi, mobilni telefoni i slično. Aplikacije koje koriste GOEP pretpostavljaju da su veza i kanali uspostavljeni, kako je definirano u GAP-u. Profil osnovne zamjene objekata opisuje procedure za guranje podataka kao i kako privući podatke sa jedne BT jedinice prema drugoj, te ovisi o profilu serijskog porta [4].

Sama Bluetooth tehnologija je dodirnula veliki broj industrija kao što nije nijedna druga bežična tehnologija. Od kompjuterske i mrežne industrije do potrošačke elektronike i automobilske industrije, pa čak i medicine i industrijskih postrojenja, svi oni koriste bezbrojne prednosti Bluetooth bežične tehnologije, pa tako u ovom trenutku, na tržištu postoji više od 1700 različitih proizvoda s Bluetooth tehnologijom. Ipak, Bluetooth bežična tehnologija ne koristi se samo u svakodnevnom životu potrošača, nego i u bolničkim kirurškim objektima i pri automatiziranim isporukama različitih scenarijskih akcija i događaja, a između ostalog, i za praćenje vozila u prometnoj mreži, o čemu će biti više riječi u nastavku rada.

3. Dizajn sustava za detekciju vozila i spremanje podataka o kretanju vozila

3.1. Bluetooth u inteligentnim transportnim sustavima

Postojeće stanje zagušenosti prometnica svih vidova prometa te rast zahtjeva za transportiranjem potaknulo je krajem 20. stoljeća razvoj novih pristupa i načina rješavanja problema mobilnosti i organiziranosti prometa [5]. Inteligentni transportni sustavi omogućuju transparentnost informacija, bolje upravljanje te poboljšan odaziv prometnog sustava čime on dobiva atribute inteligentnog, a označava sposobnost adaptivnog djelovanja u promjenjivoj okolini, pri čemu je potrebno prikupiti dovoljno podataka i obraditi ih u realnom vremenu.

Inteligentni transportni sustav (ITS - *Inteligent Transport System*) se može definirati kao holistička, upravljačka i informacijsko-komunikacijska nadogradnja klasičnog sustava prometa i transporta kojom se postiže znatno poboljšanje karakteristika, odvijanje prometa, učinkovitiji transport putnika i roba, povećanje sigurnosti u prometu, udobnosti i zaštite putnika, manje onečišćenje okoliša i slično [6]. Performanse inteligentnog prometnog sustava nasuprot performansama klasičnog prometnog sustava su veće i bolje, uz investiranje u sustav, a na takav zaključak vodi i sama logika, budući da je inteligentni prometni sustav nadogradnja klasičnog prometnog sustava, dakle poboljšanje istog. Kriteriji prema kojima se bira moguće ITS rješenje za pojedini sustav su protočnost, sigurnost, učinkovitost, udobnost, te ekološka poboljšanja.

U okviru inteligentnih transportnih sustava se razvijaju inteligentna vozila, inteligentne prometnice, bežične "pametne" kartice za plaćanje cestarina, dinamički navigacijski sustavi, adaptivni sustavi semaforiziranih raskrižja, učinkovitiji javni prijevoz, brza distribucija pošiljaka podržana Internetom, automatsko javljanje i pozicioniranje vozila u nesreći, biometrijski sustavi zaštite putnika i slično [6].

Slika 2. Temeljna značenja termina inteligentnog transportnog sustava [5]

Slika 2. prikazuje temeljna značenja termina inteligentnog transportnog sustava. Tako vidimo da se radi o naprednom konceptu rješavanja prometnih problema, te ujedno i znanstvenoj disciplini, koja predstavlja i skup tehnologija, a radi se o svojevrsnom "pokretu" brojnih ITS udruga.

Porast uređaja opremljenih Bluetoothom u osobnoj potrošačkoj elektronici i u sustavima vozila otkriva potencijal razvoja Bluetooth senzorskih sustava za aplikacije u inteligentnim transportnim sustavima, a te aplikacije mogu uključivati mjerenja prisutnosti prometa, gustoće i protoka, kao i longitudinalne i komparativne analize prometa.

Najranije upućivanje na upotrebu Bluetootha u svrhu praćenja nije bilo povezano s prometom vozila i inteligentnim prometnim sustavom, već u okviru općih ciljeva sigurnosti i praćenja protoka, pa tako rani primjeri uključuju Bluetooth sustave za praćenje djece u zoološkom vrtu [7] i studenata sveučilišta [8]. Samo shvaćanje da bežični senzorni sustavi obično igraju značajnu ulogu u praćenju prometa pojavili su se u literaturi sredinom 2000-ih godina bez izričitog spominjanja Bluetooth veze [9].

Iako se Bluetooth u današnje vrijeme može činiti očiglednom metodom za otkrivanje i procjenu prometa, ipak su se sve do 2010. godine praćenje prometa procjenjivalo bez Bluetooth opcije. Tako se potencijal Bluetootha u praćenju prometa počeo javljati blizu 2010. godine, premda mali broj ranih terenskih ispitivanja od strane odjela i agencija lokalnih vlasti datira još iz 2008. godine [10]. Još jedno ranije istraživanje na Bluetooth senzore u doktorskoj disertaciji iz 2009. naglasila je optimalnu lokaciju senzora za razliku od prikupljanja

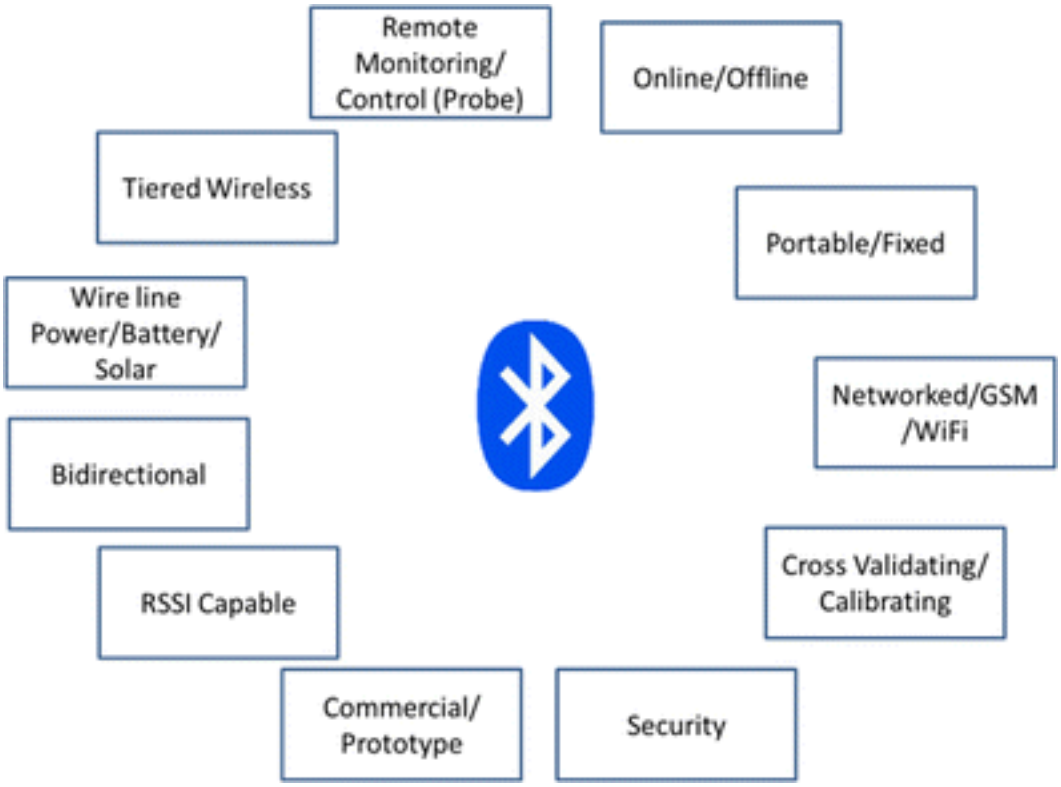
podataka, a radi se o nekim od prvih publikacija u kojima se Bluetooth smatrao sredstvom za prikupljanje podataka za praćenje prometa i upravljanje inteligentnim prometnim sustavom. Potencijalni izuzetak može biti referenca iz 2004. na korištenje Bluetootha za inteligentne prometne sustave, gdje se Bluetooth smatra sredstvom međusobne komunikacije, za razliku od korištenja Bluetooth-a kao senzora praćenja prometa [11].

Još 2008. godine, istraživači su predviđali osnovne komponente Bluetooth senzorskog sustava za inteligentne prometne sustave koji su se od tada razvili, navodeći da se lako može zamisliti pametni mobitel s dostupnim Bluetoothom, koji se puni na baterije, pričvršćen za jednu stranu ceste kako bi se prikupile materijalne procjene vremena putovanja tijekom 24 sata ili čak sedam dana, do mnogo preciznijih operativnih karakteristika kao što su signalizirani pothodnici ili građevinske radne zone, a koji podaci se mogu naknadno preuzeti s tog uređaja [10]. Ta ranija istraživanja su se obično usredotočila na aplikacije za procjenu vremena putovanja vozila i procjene odredišta, odnosno destinacije na urbanim dijelovima i na autocestama. Ostali istraživački interesi su uključivali kvalitetu podataka dobivenih putem Bluetooth detekcije mobilnih uređaja za aplikacije za predviđanje vremena putovanja i procjene vremenski ovisnih odredišta-odredišnih matrica unutar naprednog informacijskog sustava za promet koji daje informacije vozačima [12], dok novije studije isto tako istražuju ulogu Bluetooth senzora za procjenu vremena putovanja i brzine vozila [13].

Premda je široka rasprostranjenost komercijalnog nadzora pomoću Bluetootha nad prometom još uvijek u svojim počecima, implementiran je niz pilot programa različitih skala. Tako je u okrugu Clark u Sjedinjenim Američkim Državama 2013. godine, u pilot programu koji košta 540.000 dolara, instalirano oko 20 Bluetooth senzora za prikupljanje podataka duž prometne mreže koja ima relativno velik promet, kako bi se utvrdilo može li sustav dati informacije koje su potrebne prometnim inženjerima [14]. Istraživanje je pokazalo da sustav očitava 3-5% prometa na vozilima putem Bluetooth MAC adresa, a stručnjaci, odnosno prometni inženjeri, su prepoznali da je to dovoljno za pružanje informacija o protoku prometa. Slični pilot programi su provedeni i u mnogim drugim zemljama, poput Turske i Australije. Ipak, dok su mnogi pilot programi usredotočeni na sam tok prometa u pothodnicima, postoje i druge aplikacije za skeniranje Bluetootha koje su povezane sa preusmjeravanjem radne snage. Trenutno se većina pilot programa odnosi na informatizaciju samog putovanja i procjenu podataka iz Bluetootha, kako bi se izgladili slučajevi koji se temelje na dokazima, radi ponovnog vremenskog usklađivanja prometnog signala [15].

3.2. Dizajn i spremanje podataka inteligentnih transportnih sustava

Prilikom dizajniranja Bluetooth senzora sustava za aplikacije inteligentnih prometnih sustava, postoji izbor u atributima sustava koji postaju dizajnerske odluke jedinstvene za kontekst i ciljeve sustava u implementaciji, što prikazuje slika 3. Osnovna konfiguracija zahtijeva od dizajnera da odluči kakvu će vrstu uređaja za ispitivanje koristiti, koliko je potrebnih uređaja za ispitivanje, gdje i kako će biti locirani i fiksirani u okolišu.



Slika 3. Odluke o dizajnu praćenja Bluetooth prometa [16]

Prototipni sustav često se može lako sastaviti za više tisuća dolara i omogućiti podatke na razini ulaznih podataka za otkrivanje Bluetooth uređaja. Komercijalna instalacija sličnog opsega bi s druge strane bila dosta skuplja, a dostupni su i sustavi srednjeg opsega [17].

Fiksni sustav podrazumijeva trajnu ili polutrajnu instalaciju, dok prijenosni sustav podrazumijeva postavljanje ili rastavljanje sustava koje traje nekoliko sati, a razdoblje implementacije mjereno u danima, tjednima ili mjesecima. U slučaju prijenosnog sustava, razmatranje mora biti domena aplikacije, a prijenosni sustav nudi praktičnost lakšeg preusmjeravanja. Prijenosni sustav obično podrazumijeva akumulatorsku bateriju i eventualno sustav punjenja baterije, kao što je solarni. Fiksni sustav je obično otporan i izdržljiv, ali veća

pažnja u položaju senzora je potrebna jer se početne odluke o položaju ne mogu lako mijenjati. Fiksni sustav se također može oslanjati na napajanje baterije, premda stalno napajanje može biti isplativije. U oba fiksna i prijenosna sustava potrebno je GPS pozicioniranje, te mogu biti na mreži ili izvan mreže [16].

Što se tiče *online,* odnosno umreženog sustava, on ima potencijal za prikupljanje podataka u stvarnom vremenu, i potencijalno analizu, budući da se podaci pohranjuju u senzoru samo na veoma kratko vrijeme i redovito se vraćaju u bežičnu vezu. U izvan mrežnom sustavu, odnosno *offline s*ustavu, postoji potreba za značajnijim pohranjivanjem podataka i relativno jednostavnim preuzimanjem. Minimalni zahtjev bio bi da senzori zapisuju podatke na SD karticu te da se planira ručni protokol za pronalaženje podataka.

Sam izbor napajanja senzora ovisi uglavnom o namjeni aplikacije, pa će tako najvjerojatnije biti napajana na bateriju, a ovisno o trajanju i okruženju, može biti opremljena i sustavom solarnog punjenja [16]. U fiksnom sustavu, *wireline* napajanje može predstavljati ekonomičnu alternativu, premda se isti može napajati i na bateriju.

Razmatranja umrežavanja obično su ograničena na mrežne sustave, gdje projektant mora razmotriti način prijenosa podataka, a dvije od vjerojatnijih tehnologija umrežavanja su mobilne GSM ili Wi-Fi. Razmatranje pri odabiru Wi-Fi mreže bilo bi osigurati odgovarajuću pokrivenost širokog područja.

Treba reći da mreža s nizom bežičnih senzora predstavlja uobičajenu arhitekturu za senzorne mreže, a u sustavu s više uređaja za ispitivanje, mora se donijeti odluka o tome hoće li svaki senzor biti opremljen vlastitim Wi-Fi ili GSM/GPRS modulom, što omogućuje izravnu komunikaciju sa svakog senzora na *back-end* poslužitelj [16].

Bluetooth senzori bi trebali biti daljinski nadgledani i poželjno također konfigurirani. Fizičko okruženje instalacijskih mjesta (područja s velikim prometom, izloženost svim vremenskim uvjetima) može učiniti neprikladnim i potencijalno opasnim za praćenje i konfiguraciju na licu mjesta. Daljinsko praćenje omogućuje rano otkrivanje neispravnih senzora i drugih nedosljednosti. Daljinska konfiguracija može se kretati od konfiguriranja brzine uzorkovanja ili senzora spavanja kada to nije potrebno, što postaje ključno za jedinice koje se napajaju baterijama. Implikacija daljinskog nadzora i konfiguracije je da bežični pristup putem Wi-Fi ili mobilne telefonije bude dostupan senzorima [16].

U analizi podataka, razmatranja uključuju, ali nisu ograničena na sposobnost da obrađuju višestruke očitane MAC adrese iz određenog senzora za ispitivanje koji predstavljaju različita vozila kao i više očitanja istog, istodobne MAC adrese pročitane od dva ili više senzora, ili očitanih MAC adresa koje ne pripadaju vozilima. Činjenica da su podaci označeni mogu se koristiti za postizanje određene razine diferencijacije. Ipak, uvijek će postojati određeni stupanj neizvjesnosti (npr. analiza podataka vjerojatno neće moći definitivno razlikovati jedno vozilo od javnog prijevoza, autobus s 40 putnika i više Bluetooth očitavanja).

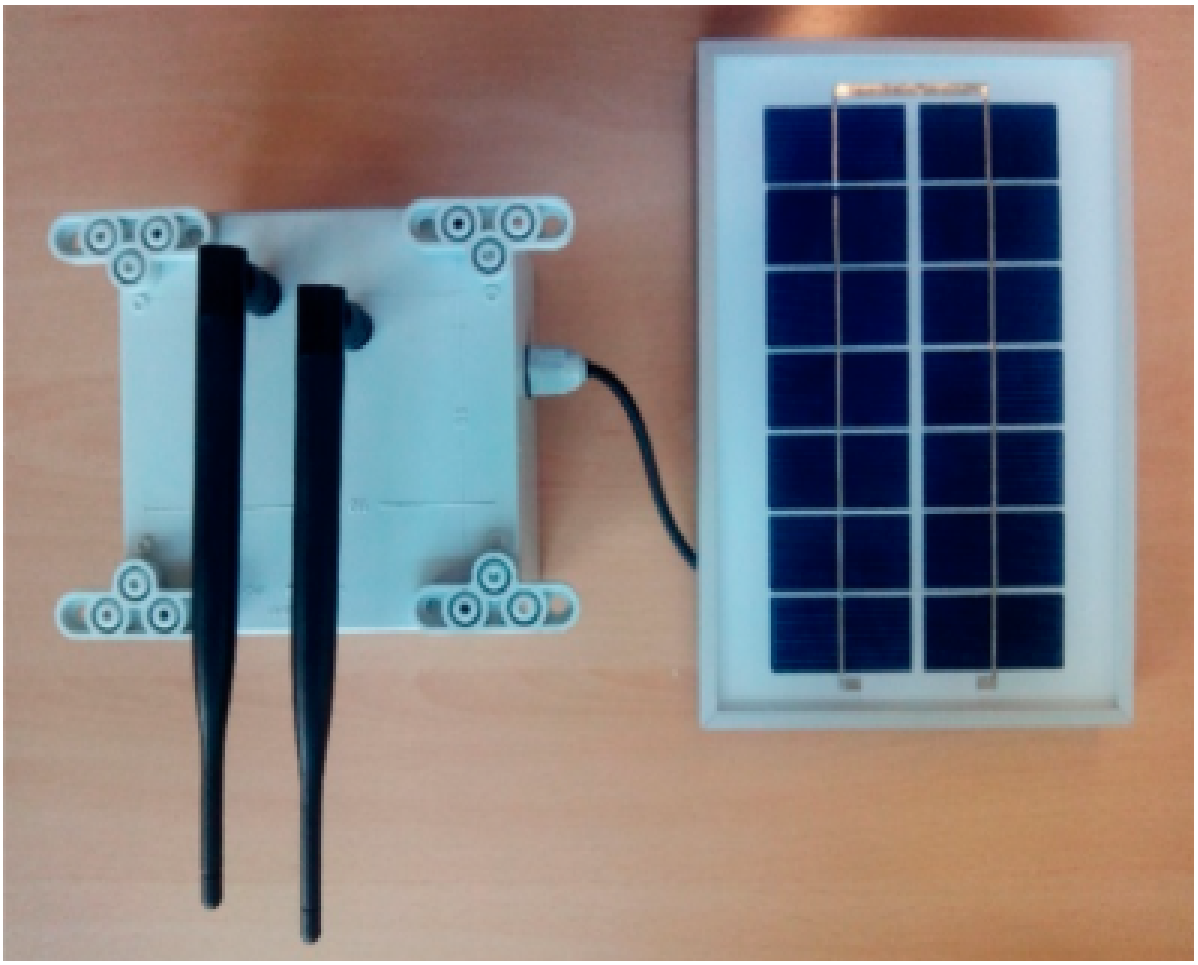
Urbani informacijski sustav (UIS - *Urban Information System*) predstavlja prijenosnu bežičnu platformu, koja dobiva informacije o prometu i okolišu, za daljnje praćenje i obradu u središnjoj jedinici, u stvarnom vremenu. Informacije dobivene senzorima obuhvaćaju brojanje vozila, MAC adrese od Bluetooth uređaja koji pripadaju vozilima, koncentracije plinova, te parametre okoliša poput buke ili prašine. Glavni cilj urbanog informacijskog sustava sastoji se od obilježavanja gradskog prometa na području interesa. To znači prebrojavanje vozila, ali i identificiranje raspodjele ruta, što se naziva matricom podrijetla i odredišta (O-D matrica).

Osnovna konfiguracija platforme urbanog informacijskog sustava sastoji se od više čvorova odašiljača i najmanje jednog čvora prijemnika. Čvorovi odašiljača prikupljaju podatke o urbanim sredinama kao što su Bluetooth MAC, broj vozila koji prelaze ultrazvučni snop, koncentracije plinova kao što su NOx, CO, CO2, O2, SH2, VOC, intenzitet svjetla, buku ili prašinu. Fleksibilnost čvorova UIS-a i njihove neinvazivne prirode omogućuje prilagodbu implementacije UIS-a lako u oblik područja interesa [18].

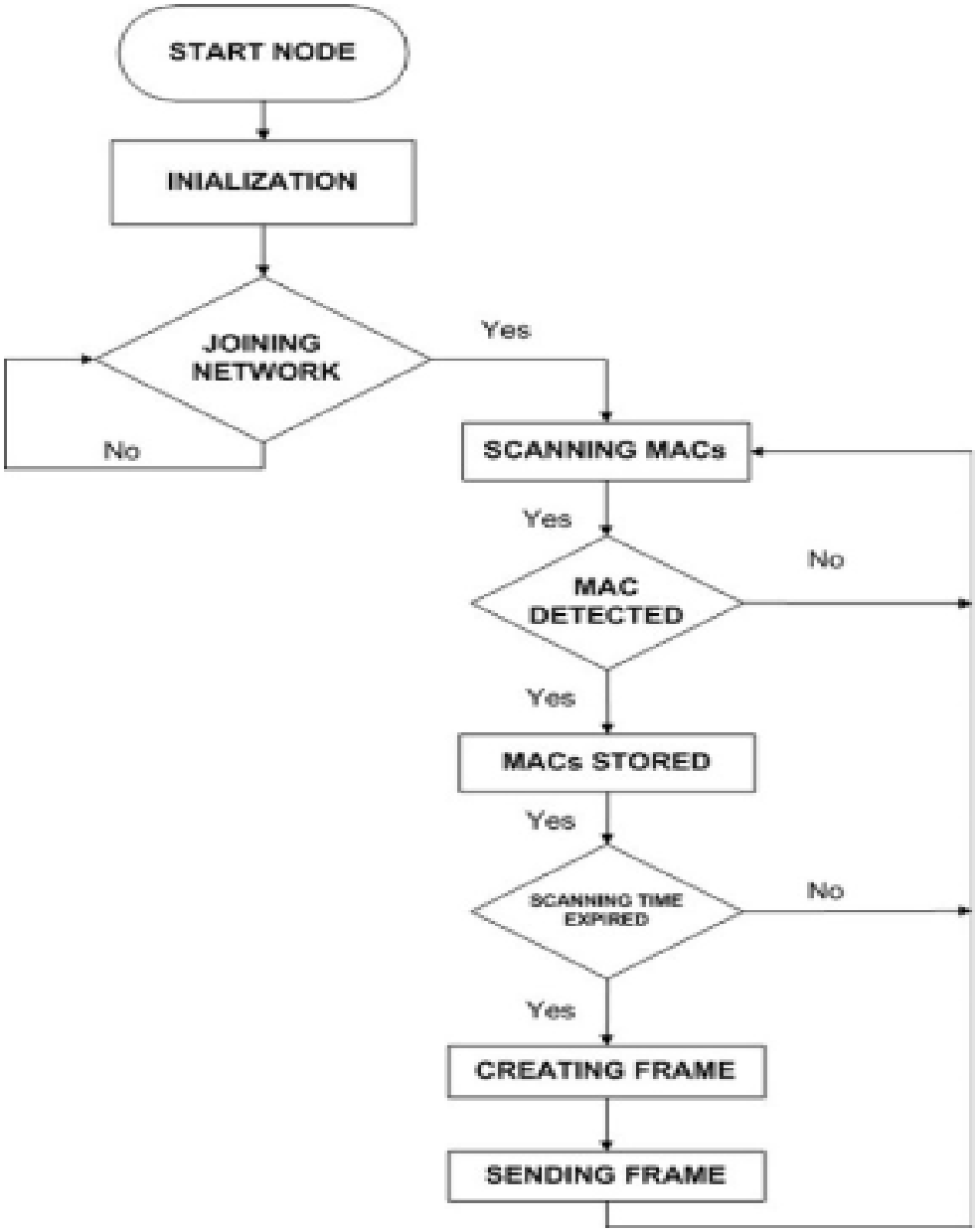
UIS Bluetooth čvor (UIS BT node) može se opisati kao neinvazivan pametni senzor vozila. Senzor koji se koristi za otkrivanje Bluetooth uređaja je Bluegiga wt12 Bluetooth modul dodan Waspmote V1.2. platformi. Modul Bluetooth senzora kontinuirano traži pridruživanje mogućoj Bluetooth mreži, pokretanje ciklusa svakih pet sekundi za otkrivanje svih mogućih uređaja za povezivanje. Kada Bluetooth uređaj vozila unutar dometa senzora primi zahtjev za povezivanje, on automatski odgovara dajući informacije o sustavu kontrole medija (MAC - *Media Access Control*), proizvođaču i klasi uređaja (CoD - *Class of Device*) [18].

Nakon što urbani informacijski sustav primi prikupljenje podatke od UIS Bluetooth čvora, koristi slijedeće podatke za obradu:

1) MAC: jedinstven je za svaki Bluetooth uređaj proizveden u svijetu. Identificira uređaj s bilo kojeg drugog, a budući da korisnici mogu odlučiti da li su njihovi sustavi vidljivi ili ne, ne predstavlja problem njihovoj privatnosti. Međutim, ako je potrebno, može se razmotriti i dio MAC adrese, umjesto cjelokupne identifikacije
2) CoD: opisuje vrstu uređaja (tzv. *hands-free*, *smartphone*, laptop, itd.), te pomaže u odlučivanju da li će se neki MAC smatrati pripadajućim vozilu ili ne.



Slika 4. UIS Bluetooth čvor [18]



Slika 5. Dijagram UIS Bluetooth čvora [18]

Slika 4. prikazuje UIS Bluetooth čvor, dok slika 5. prikazuje kako on djeluje. Naime, čvor, jednom inicijaliziran, pokušava se pridružiti UIS mreži. Ako postavke parametara odgovaraju onima UIS mreže, tada se čvor pridružuje, a u slučaju da ne odgovaraju, on će nastaviti tražiti odgovarajuću mrežu. Kada se čvor pravilno spoji, BT čvor urbanog informacijskog sustava počinje tražiti Bluetooth uređaje za otkrivanje njihovih MAC-ova. Nakon pet sekundi, otkriveni MAC-ovi bit će pohranjeni u internoj memoriji Waspmote V1.2 platforme. Bit će stvoren okvir koji podrazumijeva obradu, pakiranje i šifriranje, te će biti poslan na čvor primatelja kao okvir protokola ZigBee [18].

4. Pregled komercijalnih sustava koji pružaju funkcionalnost detekcije Bluetooth signala iz vozila

Jedan od najranijih komercijalnih sustava koji je koristio Bluetooth za identifikaciju vozila za procjenu vremena putovanja je bio BLIDS koji je uveden početkom 2008. godine, s više od pedeset sustava. BLIDS mrežni sustav sastoji se od najmanje dva senzora s prilagođenim hardverom i softverom, kao i poslužiteljskim sustavom za prijam i obradu podataka.

Slika 6. BLIDS hardver [19]

Slika 7. Postavljenje BLIDS senzora [19]

Slika 6. prikazuje BLIDS hardver koji se sastoji od:

1) BLIDS senzor
2) napajanje
3) utikač
4) GSM antena
5) Bluetooth antena
6) ljepljiva folija.

Slika 7. prikazuje postavljanje BLIDS senzora na stupu pokraj prometnice koji se u ovom slučaju napaja pomoću solarnih panela, pokriva područje od 250 metara i može očitati vozila pri brzini do 220 km/h. BLIDS nudi odgovorno upravljanje podacima u skladu sa zahtjevima zaštite podataka i pomaže operatorima prometne infrastrukture u ispunjavanju zakonskih obaveza i zahtjeva [19].

Jedan od ranijih komercijalnih dobavljača sustava za praćenje prometa u Bluetooth sustavu je i Traffax Inc. a sustav poznat po nazivu BluFax uveden je 2009. godine. BluFax je revolucionarna linija opreme za nadgledanje prometa koja koristi Bluetooth tehnologiju kako bi osigurao točne podatke o putovanju i početnoj destinaciji za vozila i pješake i za upotrebu u okruženjima koja uključuju velike brzine, autoceste i sigurnosne provjere. Prijenosni i trajno ugrađeni BluFax uređaji učinkovito su korišteni za aplikacije koje uključuju [20]:

1) praćenje stvarnog vremena putovanja i informacije o autocestama
2) kao zamjena za istraživanja automobila za prikupljanje podataka o trajanju putovanja i kašnjenju
3) za validaciju alternativnih izvora podataka o putovanjima na autocestama
4) istraživanja za procjenu performansi sustava prometnih signala
5) praćenje prometa i utjecaja projekata izgradnje kolnika
6) mjerenje brzine i kašnjenja vozila zbog građevinskih zona
7) istraživanja početne destinacije za vozila i pješake
8) praćenje u stvarnom vremenu koliko se čeka pri prelasku granice.

Prednosti BluFax-a su [20]:

1) Točno mjerenje početnog odredišta i odredišta (O-D) ukupnog prometa. Korištenje BluFax-a pruža veću veličinu uzorka po nižoj cijeni nego što je to moguće s uobičajenim metodama.
2) Prikladnost za uporabu u različitim načinima rada. Budući da su Bluetooth uređaji uglavnom povezani s pojedincima, BluFax može prikupljati podatke za pješake ili za vozila koja zauzimaju pojedinci koji nose Bluetooth uređaje.
3) Minimalni utjecaj na osobnu privatnost. BluFax nudi veću osobnu privatnost od onog koji je trenutačno dostupan s automatiziranim praćenjem naplate cestarine i sličnim. Danas nema baze podataka o korisničkom računu koji su povezani s Bluetooth adresama. BluFax senzori mogu se konfigurirati za šifriranje MAC adresa prije nego što su pohranjeni na uređaju ili poslani na poslužitelj za obradu.
4) Otvoreni protokol koji je globalno primjenjiv. Mobilni telefon i podaci s automatskim cestarinom primjenjuju se samo na određene objekte, proizvođače ili regije. Traffaxov pristup može se razmjenjivati širom svijeta, na bilo kojem prijevoznom objektu.

Slika 8. Blufax senzor u zaštitnoj kutiji [20]

Slika 9. Blufax senzor u zaštitnoj kutiji [20]

Slike 8. i 9. prikazuju Blufax uređaj u zaštitnoj kutiji koja se postavlja unutar prometne mreže. Bluefax koriste poduzeća u Sjedinjenim Američkim Državama, Kanadi, Australiji i drugim zemljama još od 2009. godine. Sustavi za prikupljanje podataka BluFax temelje se na centralnom modulu koji uključuje ključne sposobnosti bitne za podršku preciznim prikupljanjima podataka, pouzdanim i bezopasnim operacijama u širokom rasponu konfiguracija i radnim okruženjima. BluFaxWeb omogućuje učinkovito i pouzdano bilježenje, obradu, prikazivanje i izvještavanje podataka Traffaxovog BluFax nadzornog senzora. Arhitektura softvera temelji se na opsežnom iskustvu pružanja podrške za aplikaciju i integraciju u realnom vremenu za upravljanje prometom.

Blipsystems predstavlja komercijalno rješenje za praćenje prometa putem Bluetootha, a njihov proizvod se naziva BlipTrack. BlipTrack senzor mjeri promet u stvarnom vremenu, odnosno precizno prebrojava vozila na cesti, vrši njihovu klasifikaciju, analizira brzinu vozila, te detektira nezgode, odnosno nesreće na cestama. Naime, radi se o kompletnom rješenju za izračunavanje i akumuliranje statističkih podataka, uključujući smjer, traku, volumen, zauzetost, prosječnu brzinu [21]. Raspon, radijalna brzina, kut, refleksivnost i drugi parametri

više stacionarnih i pokretnih reflektora (ciljeva) se mjere istovremeno. Svaka detekcija je vremenski označena i pohranjena s informacijama o vrsti vozila i brzinom u točki, a budući da se vozila otkrivaju tijekom dugog razdoblja, može se analizirati ponašanje vozača u vožnji koje pomaže ublažavanju okluzija i povećava preciznost prebrojavanja na približno 95% [21]. Senzor projektira jednu mikrovalnu zraku niske snage duž ceste i otkriva sve predmete unutar vidnog polja, a široko područje detekcije omogućuje korisnicima da definiraju do četiri mjerne (brojčane) linije unutar polja pogleda. Senzor djeluje u svim vremenskim uvjetima, pa na njega ne utječu prljavština, smog, magla, sunčeva svjetlost, vjetar, pješčane oluje ili ekstremne temperature. Kiša i snijeg imaju mali utjecaj na performanse senzora i to se obično niti ne primjećuje zbog margina detekcije i naprednih algoritama za praćenje.

Slika 10. BlipTrack senzor [21]

Slika 10. prikazuje BlipTrack senzor u vodonepropusnom kućištu IP67 koje omogućuje montažu u svim okruženjima [21]. Senzor se lako montira, na visini od 6 metara, na postojećim cestovnim strukturama i stupovima bez ometanja prometa. Nije potrebno zaustavljanje, a pogodno je za stalne ili privremene instalacije. Radar je integriran i napaja se putem BlipTrack Bluetooth / Wi-Fi vanjskog senzora, koji je ili povezan s lokalnim trajnim ili isprekidanim izvorom napajanja, kao što su ulična rasvjeta, solarna energija, ili nezavisni izvor napajanja. BLIP sustavi upravljaju radnim poretkom, konfiguracijom i ažuriranjima. Podaci se prenose u realnom vremenu, preko *Ethernet* ili mobilnog širokopojasnog pristupa, do sigurnog skladišta podataka. Pri gubitku mrežne veze omogućeno je pohranjivanje podataka. Podaci se analiziraju i prikazuju u BLIP sustavu u korisničkom sučelju baziranom na *webu*, s prikazima grafikona i nadzorne ploče.

Još jedan značajan komercijalni sustav jest TrafficCast s proizvodom koji se naziva BlueTOAD. Naime, BlueTOAD i BlueARGUS su sveobuhvatne aplikacije za optimizirane za prikupljanje podataka o putovanjima vozila i vizualizaciju na nadzornoj ploči [22]. Ulaganje u infrastrukturu cestovnog prometa je visoko na dnevnom redu za federalne, državne i lokalne agencije, a povrat ulaganja će biti još i veći korištenjem napretka u tehnologiji i analizi podataka koji su dostupni u BlueTOAD-u radi optimizacije planiranja i operacija. Od proračunskih tablica i grafikona do samostalnih baza podataka i usluga, BlueARGUS se koristi za otkrivanje podataka o putovanju pomoću softvera za performanse programa BlueCAD Travel Tim. Uz današnju široku uporabu Bluetootha u pametnim telefonima, navigacijskim sustavima i vozilima, TrafficCast je razvio točniju i sigurniju metodu za pronalaženje i usklađivanje resursa s putnim vremenom, a radi se o tzv. Spectri. Naime, uz Spectru, BlueTOAD pretražuje i odgovara Bluetooth uređajima koji se mogu detektirati i onima kojima se ne može ući u trag, što je doprinijelo broju usklađivanja dostupnih za analizu trajanja putovanja. Spectra koristi razne tehnike skeniranja za učinkovito skeniranje i usklađivanje Bluetooth uređaja u načinu da ostanu neotkriveni. Važno je reći da Spectra koristi samo dio MAC adrese uređaja, pa kao rezultat toga, ova metoda za usklađivanje Bluetooth uređaja pruža najučinkovitiji pristup kako bi se osigurala anonimnost vlasnika uređaja.

Iteris također ima sličan proizvod nazvan Vantage Velocity za detektiranje Bluetooth MAC adresa, ali nema integriranu mobilnu vezu. Vantage Velocity tako iskorištava veliki broj vozila koja se voze s Bluetooth uređajima, kao što su pametni telefoni. Svaka jedinica brzine Velocity prepoznaje jedinstvenu MAC adresu Bluetooth uređaja te prenosi vrijeme i položaj uređaja na središnji sustav računala. Dok se Bluetooth uređaji detektiraju u uzastopnim područjima Velocity, sustav izračunava prosječno vrijeme putovanja i brzine za segment cestovnog prometa. Posebna mrežna adresa uređaja ostaje anonimna [23].

Slika 11. Vantage Velocity senzor [23]

Slika 11. prikazuje Vantage Velocity senzor gdje je instalacija vrlo jednostavna, sustav se lako može montirati unutar ormarića za prometni signal. Dostupne su različite komunikacijske metode za prijenos podataka u sustav. Prednosti Vantage Velocity su što pruža neposredni pristup informacijama o vremenu putovanja vozila, jednostavno je integriran s Iteris opremom i sustavima trećih strana, pruža povijesne podatke za potrebe planiranja, te podatke u stvarnom vremenu za prometne operacije. Značajke su joj da se jednostavno instalira i koristi, cjenovno je isplativa, te se bazira na standardnoj opremi i protokolima, zahtijeva minimalno održavanje, pruža višestruke konfiguracije, veliki prodor Bluetooth uređaja i uzoraka podataka rezultira pouzdanim i točnim informacijama, pruža inteligentno filtriranje podataka između udaljenih točaka, te podatkovne obavijesti za sustave trećih strana, a podaci se mogu koristiti za *offline* analizu. Također, daje podatke o alternativnim rutama za vrijeme radova na cestama, pruža vrijeme putovanja za cestovne informacije u stvarnom vremenu, mjeri utjecaj građevinskih projekata na cestama, te se koristi za pokretanje ili određivanje prioriteta ponovnog određivanja signala u prometu.

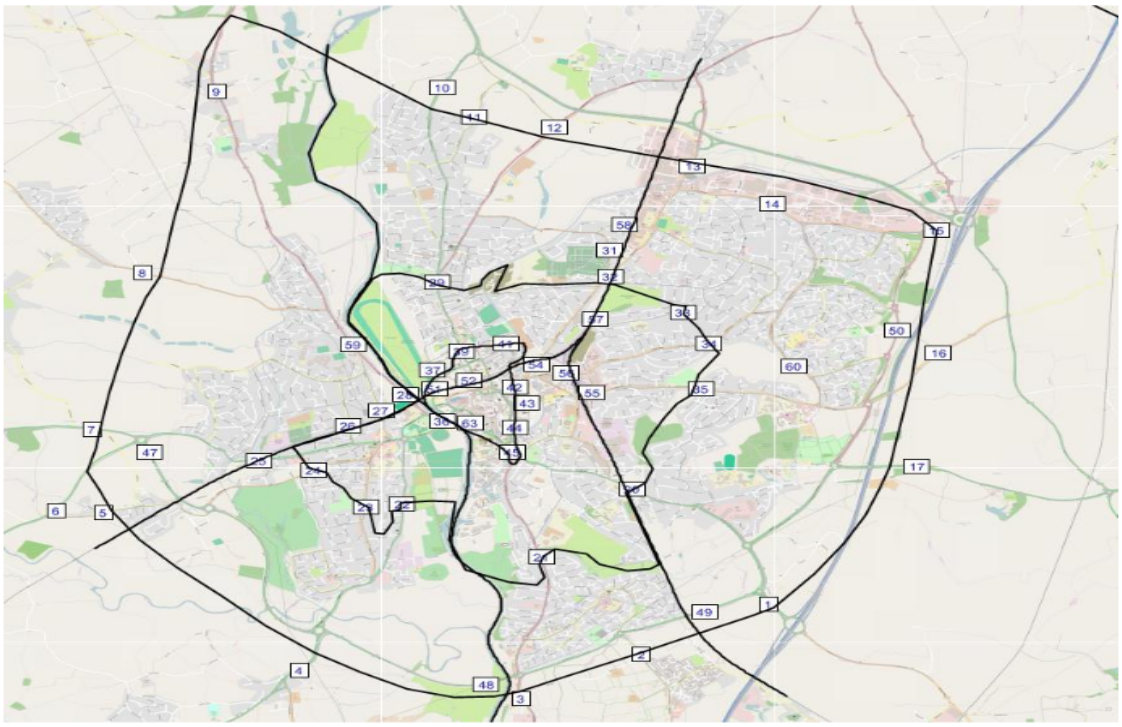
5. Mogućnost izrade prometnog modela iz prikupljenih podataka pomoću Bluetooth senzora

Rast razine prometa potaknuli su istraživanje metoda za ublažavanje zagušenja gradskog prometa. Inteligentni transportni sustavi široko se koriste za bolje upravljanje postojećom prometnom infrastrukturom. Opsežni ciljevi naprednih sustava upravljanja prometom (*ATMS - Advanced traffic management systems*), naprednih putničkih informacijskih sustava (ATIS - *Advanced traveler information systems*) i naprednih sustava javnog prijevoza (APTS - *Advanced public transportation systems*) koriste sofisticirane tehnologije za poboljšanje učinkovitosti trenutnih načina prijevoza, povećanje kapaciteta, smanjenje kašnjenja i poboljšanje sustava pouzdanosti. Razvijeno je nekoliko softverskih programa koji podupiru ove inicijative, a takvi sustavi simuliraju performanse cestovne mreže na različitim razinama detalja, optimiziraju signalne cikluse, procjenjuju i predviđaju uvjete u realnom vremenu i generiraju dosljedne smjernice za rute [24].

Grad Worcester je mali grad u Engleskoj koji ima populaciju od 100.000 ljudi i koristi prometni model pod nazivom Worcester transport model (WTM). Navedeni prometni model sastoji se od prometnih video kamera, intervjuova na prometnici (RSI – *Roadside Interviews*) i kučnim anketama o putovanjima, navedeni prometni model postao je preskup, a javni proračun se smanjio, što dovodi do interesa za jeftinijim prikupljanjem podataka o prometu. Stoga, podaci prikupljeni Bluetooh uređajima nudili su brojne prednosti:

1) Poboljšanje razumijevanja mobilnosti stanovništva i preferencije pri odabiru rute putovanja
2) Informacije su se mogle prikupljati na lokacijama gdje RSI nije dostupan, npr. na autocestama
3) Prikupljanje informacija je jeftinije
4) Intervjuovi na prometnicama bi se smanjili čime bi se izbjegle prometne smetnje i prikupljeni podaci bi bili točniji.

Privremeni Bluetooth senzori, njih 66, postavljeni su po cijelom gradu uz prometnice kako bi detektirali vozila, te oni čine tzv. "paukovu mrežu" (Slika 12.).



Slika 12. Lokacije Bluetooth senzora [25]

Bluetooth senzori prikupljaju Bluetooh signal od vozila koji prolaze prometnicom te bilježe njihove MAC adrese, vrijeme prve i posljednje detekcije i tip uređaja (mobilni telefon, tablet, *hands free*, itd.). Istraživanje je trajalo 3 dana, ali zbog pogreške u mjerenju, 1 dan je bio isključen iz daljnje analize. Ukupno je prikupljeno je 229.662 Bluetooth detekcija i 41.358 MAC adresa koje su iskorištene za analizu. Broj Bluetooh uređaja u jednom vozilu je nepoznat, npr. u jednom vozilu može biti više putnika koji imaju Bluetooh uređaj, stoga je potrebno filtrirati rezultate kako bi mjerenje bilo što preciznije. Faze filtriranja su:

A. Pretpostavka da uređaji/putnici mogu biti locirani u istom vozilu ako su detektirani u intervalu od 4 sekunde.
B. Detekcija se mora pojaviti u intervalu od 4 sekunde na istoj lokaciji barem 3 puta prilikom gibanja kroz mrežu, u slučaju gužve ako su dva vozila detektirana više puta preko istog Bluetooh senzora navedeni podati neće utjecati na daljnju analizu.
C. Minimalna praznina između detekcije dva Bluetooh senzora je 15 minuta.
D. Nakon potencijalnih višestrukih detekcija duplikati su filtrirani. Na primjer, ako MAC 1 i MAC 2 imaju slične detekcije umjesto da se MAC 2 izbriše isti se kombinira sa MAC 1. Pomaže pri rješavanju kod propusta detekcije jer često uređaji/putnici mogu biti detektirani unutar istog vozila na različitim lokacijama unutar mreže.

E. Logička provjera se izvršava ako se kombinirani uređaji gibaju velikom brzinom ili se pojavljuju simultano na drugim lokacijama unutar mreže.

Tablica 1. Primjer filtriranja

MAC ID	**Tip uređaja**		I	II	III	IV	V
0F 55 D0 8F 92 A4	**Pametni telefon**	**Broj senzora**	7	47	**4**	48	1
F7 3B F7 00 46 D5	***Hands free***	**Broj senzora**	7	**4**	4	48	1
0F 55 D0 8F 92 A4	**Pametni telefon**	**Vrijeme**	10:56:01	10:57:47	**11:01:11**	12:41:18	**12:47:01**
F7 3B F7 00 46 D5	***Hands free***	**Vrijeme**	10:56:05	**11:01:11**	12:36:04	12:41:16	**12:47:01**

Izvor: [25]

Tablica 1. prikazuje kako se označuju potencijalni duplikati. Vrijeme između prve i posljednje detekcije je 01:49:00 i dva točna podudaranja dogodila su se u 11:01:11 i 12:47:01. Iz tablice je također vidljivo da je u 10:57:47 MAC adresa detektirana samo na mjestu 47, isto se odnosi i za mjesto broj 4 u 12:36:04. Prilikom ostalih detekcija uređaji su se konstantno razmjenjivali i bili su detektirani u različitim slijedovima. Navedeni primjer prikazuje da u slučaju da ta dva uređaja nisu imali jednako podudaranje 11:01:11 i 12:47:01 ostali bi nezapaženi da nije primijenjen filter iz faze A.

Tablica 2. Primjer filtriranja faze D

MAC ID	**Tip uređaja**		I	II	III	IV	V	VI
0F 55 D0 8F 92 A4	**Pametni telefon**	**Broj senzora**	7	47	4	4	48	1
0F 55 D0 8F 92 A4	**Pametni telefon**	**Vrijeme**	10:56:01	10:57:47	11:01:11	12:36:04	12:41:18	12:47:01

Izvor: [25]

Nakon toga primjenjuje se faza D i MAC adresa se kombinira u jedno osmatranje što prikazuje tablica 2.

Tablica 3. Primjer filtriranja faze E

MAC ID	Tip uređaja		I	II	III	IV	V	VI
0F 55 D0 8F 92 A4	**Pametni telefon**	**Broj senzora**	7	47	4	4	48	1
0F 55 D0 8F 92 A4	**Pametni telefon**	**Vrijeme 24H**	10:56:01	10:57:47	11:01:11	12:36:04	12:41:18	12:47:01
	Udaljenost	**Km**		0.641	3.729	0.00	2.31	2.98
	Vrijeme putovanja	**Min**		0:01:46	0:03:24	01:34:53	0:05:14	0:05:43
	Brzina	**Km/h**		21.8	65.8	0.00	26.54	31.37

Izvor: [25]

Tablica 3. prikazuje posljednju fazu E, koja provjerava da li je kombinacija MAC-ova logična i da se ne pojavljuje u različitim dijelovima mreže u kratkom vremenskom razdoblju. Udaljenosti izvedene iz mrežnog modela i vremena putovanja između mjesta pružaju informacije o brzini tijekom svakog segmenta putovanja. Tijekom faze E, 103 od 1344 potencijalnih duplikata vratilo se na izvornu vrijednost, te set time smanjio broj dupliciranih uređaja na 1241 od 41358.

Tablica 4. Primjer slijeda puta

MAC ID	Broj senzora	29	39	52	40	44	62	45	36	22	4	4	22	36	51	39	29
03 28 D9 00 83 DA	Vrijeme detekcije	08:18:56	08:22:58	08:25:42	08:30:54	08:31:46	17:13:45	17:14:01	17:18:04	17:44:48	17:48:56	19:37:23	19:40:10	19:42:29	19:43:12	19:44:33	19:45:47

Izvor: [25]

Skup podataka datuma slijeda uređen je za svaki sat dana na temelju vremena prve detekcije zajedno s vremenskom oznakom detekcije. Na primjer, MAC detekcije koje počinju u satu počevši od 08:00 (Tablica 4.) sa slijedom koji završava zadnjim detektiranjem u satu koji započinje u 19:00, pojavit će se samo jednom, pod zapisima s početnim vremenom detekcije od 07:00 do 08:00. Oni omogućuju slijed putovanja za svaki MAC ID i omogućuju nam da ih podijelimo u svoje zasebne komponente putovanja.

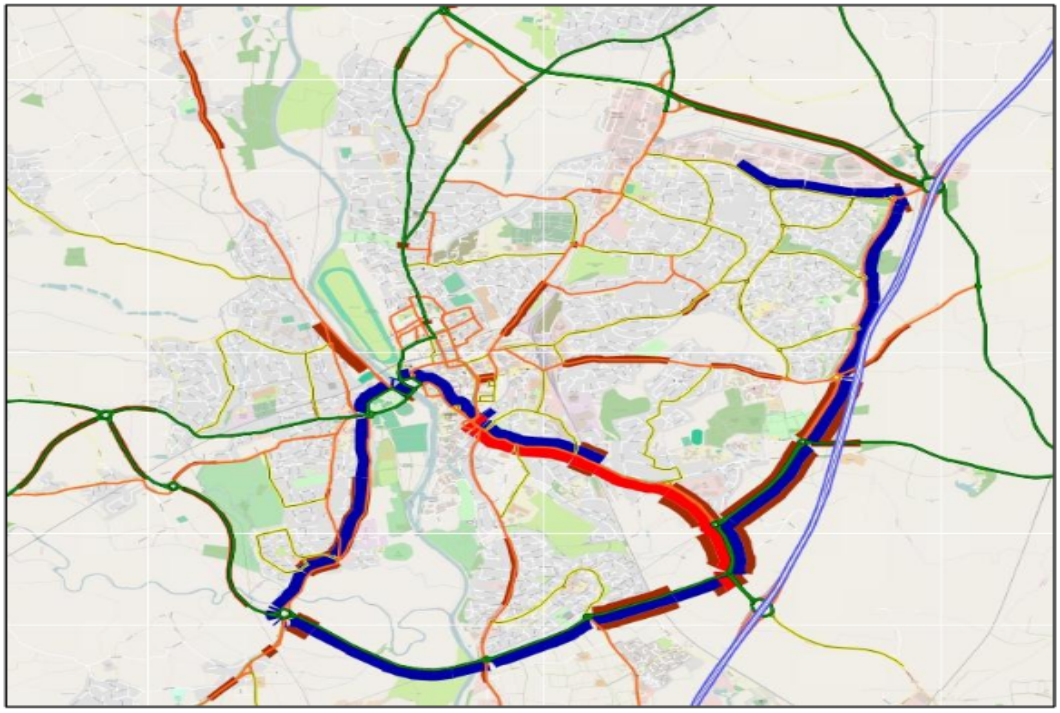
Prometni model grada Worcester geokodiran je u VISUM-u (program za strateško modeliranje prometa) koji je povezan sa svakim Bluetooh senzorom. Svaki Bluetooh senzor na temelju lokacije koordinata, smatran je modelom zone. Pristupni čvor i broj zone dijele isti broj koji odgovara Bluetooth senzoru. Model mreže provjeravao je udaljenost, brzine i logično usmjeravanje. Od detektiranja sa jednog ili više mjesta pruža konačni skup promatranih putova zajedno s njihovim volumenom. Prva točka detektiranja u svakom zapisu odgovara podrijetlu (*origin sector*) i posljednja točka detektiranja odgovara podrijetlu odredišta (*destination sector*). Konačni promatrani podaci o slijedu putovanja uvezeni su u VIZIUM. Primjer oblika podataka prikazan je na slici 13.

```
*FromZoneNo;ToZoneNo;Vol(3DecPlaces);NodeNo;...NodeNo;-1
45;21;2;45;400446885;400244046;400277915;21;-1
3;9;1;3;400530854;400480578;400480579;400179882;48;400745874;400082411;400091450;400091449;400153908
;400702998;400741191;400403981;400403980;400513553;400647954;400491117;400491118;400165427;47;400086
044;400326963;7;400326963;400326962;400415045;400335091;400745953;400044678;25;400056457;26;40031677
7;400179781;59;400168671;400316799;400355083;9;-1
36;38;2;36;400067509;400237907;400285244;64;400305943;51;400833999;400833996;66;400410819;38;-1
36;42;3;36;400067509;400237907;400285244;64;400305943;51;400833999;400833996;66;400410819;38;4002591
64;39;400821675;400566960;400394828;40;400394828;400703865;400757899;46;400652758;42;-1
14;13;6;14;400644081;400106225;400536201;13;-1
14;20;1;14;400112802;400608860;400480424;400760916;400902099;400117906;400573425;400086306;400110528
;15;400092570;400159340;400151566;400034415;400034414;400339965;400339964;400339899;50;400339886;400
039236;400340139;400340132;400370305;400045140;400372618;400541100;400490927;400546379;400536499;400
116563;400116562;49;400587462;400373335;400097671;400143834;400124062;400045492;400046328;400046327;
400179882;48;400745874;400082411;400091450;400091449;400153908;400610806;400191477;400191479;4004193
86;400519493;400519494;400544867;400508104;22;400535009;400037151;400050288;400153552;400447403;4000
00237907;400237908;400549005;400162559;400668690;400165052;400623372;400063484;400798152;400247490;4
00161718;45;400446885;400244045;400277225;400085983;400393531;20;-1
56;40;1;56;400390762;400246111;400317405;42;400317405;400246111;400390762;56;400391668;400340710;55;
400317405;400595231;400097411;43;400844095;400124226;400593428;400105158;65;400033862;400578755;53;4
00410819;38;400259153;400144497;400144498;400036964;39;400821675;400566960;400394828;40;-1
40;42;4;40;400394828;400703865;400757899;46;400652758;42;-1
42;56;1;42;400317405;400246111;400390762;56;-1
9;23;2;9;400355083;400316799;400168671;59;400179781;400688917;27;400417628;400417627;400316830;23;-1
```

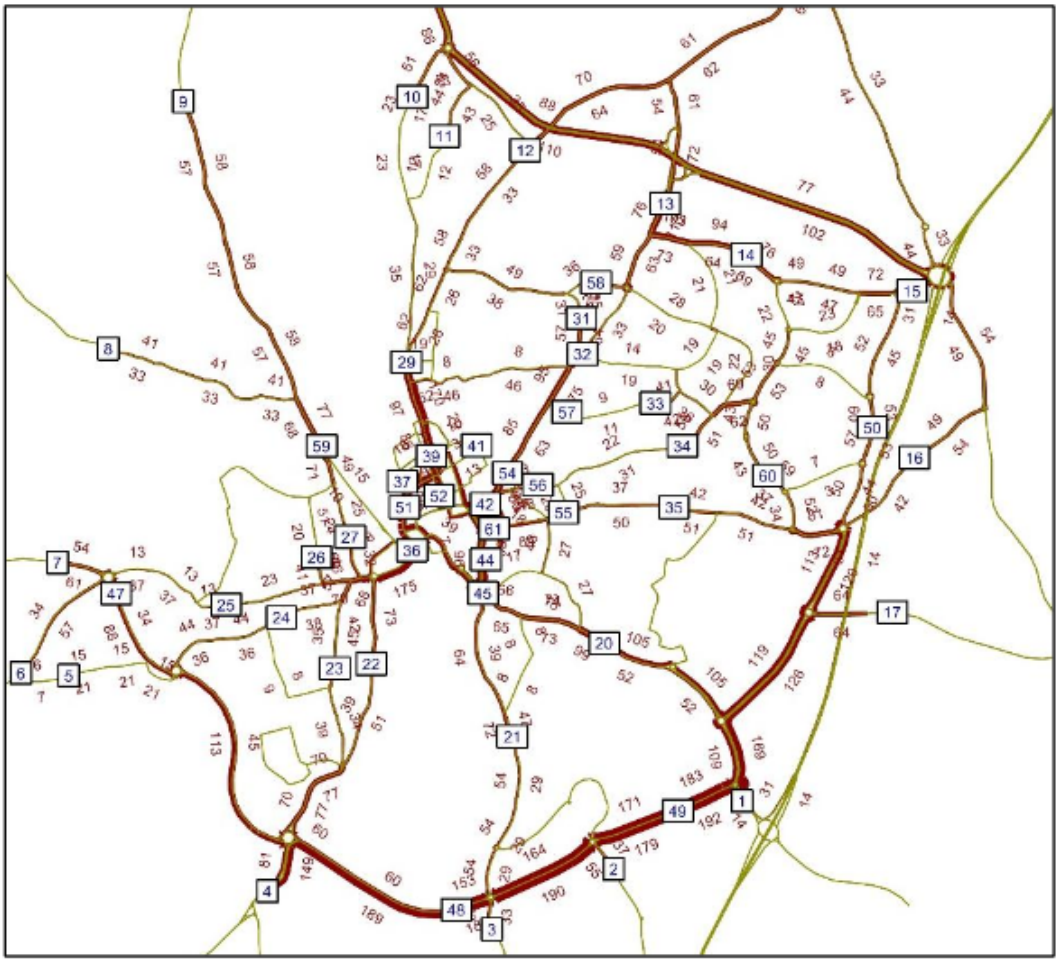
Slika 13. Uzorak podataka o putovanjima [25]

Evidencije prilikom uvoza prikazuju promatrane putove na mreži zajedno s linkovima i dodjeljuju putovanja u matricu. Ovaj prikaz je konačni primjer matrice zajedno s promatranim putovima mapiranima na mrežu modela.

Primjer mapiranih putova su prikazani na slici 14. i 15. Slika 14. prikazuje putove (crvena i plava linija) uz koje su detektirana dva MAC ID-a, dok slika 15. prikazuje prikaz promatranih putova i rezultirajuću vezu protoka volumena. [25]



Slika 14. Mapiranje MAC ID putova [25]



Slika 15. Mapiranje svih MAC ID putova za neki vremenski period [25]

6. Integracija drugih senzorskih tehnologija u sustavima za nadzor prometa

U prethodnom dijelu rada opisani su senzori koji prikupljaju podatke o prometu, a ti isti podaci poboljšavaju modele i unaprjeđuju postojeće aplikacije. Međutim, važno je također istaknuti da opći razvoj senzora također pruža mogućnost prikupljanja i korištenja drugih vrsta podataka koji se odnose na infrastrukturu i okoliš koji bi mogli poboljšati upravljanje prometom kako bi podržali šire i višestruke ciljeve.

Postoji potencijal za značajne prednosti i koristi kroz integraciju podataka o prometu s drugim vrstama podataka. Na primjer, mreža senzora može se povećati kako bi obuhvatila informacije o stanju infrastrukture koja utječe na prometne operacije, kao što su ceste, mostovi i tuneli. Ova vrsta tehnologija može uključivati:

1) Praćenje stanja okoliša: Senzori za okoliš i vremenske postaje mogu se koristiti za pravodobno određivanje nepovoljnih vremenskih uvjeta (kao što su jake oluje, ekstremne temperature ili slaba vidljivost zbog magle), ledena ili mokra površina ceste ili visoke koncentracije emisija. Ove se informacije mogu koristiti za sprečavanje nezgoda i mogu se također uključiti u napore za upravljanje prometom. Senzori u ovoj kategoriji uključuju:
   a) Meteorološke stanice: Informacije o vremenu obično pružaju TMC web stranice i drugi izvori. Strateško postavljanje meteoroloških postaja u blizini cestovne mreže osigurava precizno praćenje prevladavajućih uvjeta. Osim standardnih vremenskih informacija (temperatura, barometarski tlak, padaline, smjer i intenzitet vjetra), posvećene vremenske stanice za promet mogu pružiti dodatne informacije, kao što su stanje kolnika (ledeno, mokro) i vidljivost (npr. zbog magle).
   b) Stanice kakvoće zraka: Karte prometnoga onečišćenja zraka mogu se kombinirati u stvarnom vremenu s prometnim informacijama za upravljanjem prometom s višestrukim ciljevima, kao što su smanjenje vremena putovanja i emisija.
   c) Sustavi ranog upozoravanja na poplave: Poplave u rijekama i jezerima mogu negativno utjecati na obližnje ceste. Sustavi ranog upozorenja mogli bi

omogućiti operatorima upravljanja prometom dovoljno vremena za preusmjeravanje prometa prilikom takvih događaja [26].

2) Praćenje stanja infrastrukture: Ugrađeni senzori i tehnike skeniranja mogu pratiti i dijagnosticirati stanje pločnika, mostova, tunela, nadvožnjaka na autocestu, potpornih zidova, itd. Ovi se podaci mogu koristiti za predviđanje i otklanjanje potencijalnih neuspjeha. Rana upozorenja mogu se koristiti za planiranje preventivnih aktivnosti održavanja. Nadalje, rano upozorenje o kvarovima može se upotrijebiti za stvaranje strategija preusmjeravanja koje usmjeravaju promet dalje od pogođene infrastrukture, a prije nego što prometni uvjeti postanu nepovoljni. To također može omogućiti osoblju za hitne slučajeve da dođe do pogođenog područja bez problema.

Napredne tehnologije mjerenja mogu uvelike pomoći upravljanju transportnim mrežama tijekom evakuacije u slučaju nužde. Takve situacije obično se sastoje od različitih komponenti. Na primjer, senzori nadzora stanja mogu pružiti informacije o operativnom statusu ključne prometne infrastrukture, kao što su mostovi i tuneli, tako da prvi odgovorni i upravitelji mogu usmjeriti promet na sigurne rute. Senzori za zaštitu okoliša mogu pružiti povratne informacije o propagiranju kemijskih izljeva. Slično tome, rani sustavi upozorenja na poplave mogli bi pružiti operatorima upravljanja prometom dovoljno vremena za preusmjeravanje prometa u takvim događajima [26].

Očekuje se da ljudi općenito reagiraju drugačije kada se suočavaju s neizvjesnim i potencijalno životnim okolnostima. U kontekstu upravljanja prometnim mrežama, ovo se može prevesti u njihov izbor načina evakuacije, rute i odredišta. Tehnologija može igrati ključnu ulogu u mjerenju kolektivnog učinka tih pojedinačnih odluka u stvarnom vremenu. Detektori prometa mogu ispuniti ključne veze o razvoju uskih grla i prostornoj i vremenskoj raspoloživosti slobodnih kapaciteta kako bi se zahtjev za evakuacijom mogao riješiti na najučinkovitiji način.

7. Zaključak

Bluetooth predstavlja bežični protokol za razmjenu podataka na kratkim udaljenostima između fiksnih i/ili mobilnih uređaja, a dobio je naziv po Haroldu Bluetooth-u, koji je bio poznat po svojim mogućnostima diplomatskih pregovora, gdje je često uspijevao napraviti visoko razumijevanje i komunikaciju između više strana s različitim interesima. Sam naziv "*Bluetooth*" odabran je zato što ta tehnologija omogućuje komunikaciju različitih uređaja, odnosno prijenos podataka između mobilnih telefona, računala i drugih uređaja na kratkim udaljenostima. Bluetooth uređaji rade u frekvencijskom pojasu od 2,4 GHz do 2,4835 GHz, tj. u takozvanom industrijsko-znanstveno-medicinskom pojasu, a budući da se korištenje ISM pojasa ne plaća, spektar je napučen korisnicima, pa se radio sustavi moraju projektirati tako da se uspješno nose sa problemima interferencije i promjene jakosti signala.

Inteligentni transportni sustav predstavlja holističku, upravljačku i informacijsko-komunikacijsku nadgradnja klasičnog sustava prometa i transporta kojom se postiže znatno poboljšanje karakteristika, odvijanje prometa, učinkovitiji transport putnika i roba, povećanje sigurnosti u prometu, udobnosti i zaštite putnika, manje onečišćenje okoliša i slično. Porast uređaja opremljenih Bluetoothom u osobnoj potrošačkoj elektronici i u sustavima vozila otkriva potencijal razvoja Bluetooth senzorskih sustava za aplikacije u inteligentnim transportnim sustavima, a te aplikacije mogu uključivati mjerenja prisutnosti prometa, gustoće i protoka, kao i longitudinalne i komparativne analize prometa. Najranije upućivanje na upotrebu Bluetootha u svrhu praćenja nije bilo povezano s prometom vozila i inteligentnim prometnim sustavom, već u okviru općih ciljeva sigurnosti i praćenja protoka, pa tako rani primjeri uključuju Bluetooth sustave za praćenje djece u zoološkom vrtu i studenata sveučilišta. Iako se Bluetooth u današnje vrijeme može činiti očiglednom metodom za otkrivanje i procjenu neinvazivnog prometa, ipak su se sve do 2010. godine praćenje prometa procjenjivalo bez Bluetootha kao opcije.

Jedan od najranijih komercijalnih sustava koji je koristio Bluetooth za identifikaciju vozila za procjenu vremena putovanja bio je BLIDS, koji je uveden početkom 2008. godine, s više od pedeset sustava. BLIDS mrežni sustav sastoji se od najmanje dva senzora s prilagođenim hardverom i softverom, kao i poslužiteljskim sustavom za prijam i obradu podataka. Jedan od ranijih komercijalnih dobavljača sustava za praćenje prometa u Bluetooth sustavu je i Traffax Inc. a sustav poznat po nazivu BluFax uveden je 2009. godine.

U gradu Worcester 2014. godine napravljeno je istraživanje u svrhu poboljšanja postojećeg prometnog modela korištenjem Bluetooh senzora. S povećanjem Bluetooth tehnologije u vozilima i gadgetima udio putova koji se mogu otkriti se samo povećava. Ovaj model opisuje način na koji se prikupljaju podaci pomoću Bluetooth tehnologije te se isti obrađuju s ciljem razvijanja pouzdanih prometnih matrica i prometnih modela.

Postoji potencijal za značajne prednosti i koristi kroz integraciju podataka o prometu s drugim vrstama podataka, pa se tako mreža senzora može povećati kako bi obuhvatila informacije o stanju infrastrukture koja utječe na prometne operacije, kao što su ceste, mostovi i tuneli. Ova vrsta tehnologija može uključivati praćenje stanja okoliša, meteoroloških stanica, stanica kakvoće zraka, sustava ranog upozoravanja na poplave, praćenje stanja infrastrukture i slično.

Literatura

[1] Hrvatska akademska istraživačka mreža, Ranjivosti Bluetooth tehnologije, dostupno na: http://bit.ly/2izBE2D

[2] Unis, Uvod u bluetooth, dostupno na: http://bit.ly/2genPG7

[3] Jeren, B., Pale, P., Sustavi za vođenje i praćenje procesa, 2008., dostupno na: http://bit.ly/2wejTci

[4] Žagar, M. (2003) Bluetooth. Zagreb: Fakultet elektronike i računarstva

[5] Ćurković, K. (2013) Primjena inteligentnih transportnih sustava u cestovnom prometu. Rijeka, Pomorski fakultet u Rijeci

[6] Bošnjak, I. (2006) Inteligentni transportni sustavi-ITS, Zagreb, Fakultet prometnih znanosti

[7] BlueTags to install world's first Bluetooth tracking system, 2003., dostupno na: http://bit.ly/2wyD9nm

[8] Haase,M., Handy, M. (2004), BlueTrack- Imperceptible tracking of bluetooth devices, Ubicomp Poster Proceedings

[9] Wen,Y., Pan, J.L., Le, J.F., (2007) Survey On Application Of WirelessSensor Networks For Traffic Monitoring, International Conference on Transportation Engineering 2007

[10] Wasson, J.S., Sturdevant, J.R., Bullock, D.M (2008), Real-Time Travel Time Estimates Using MAC Address Matching. Institute of Transportation Engineers Journal, ITE, 78(6), str. 20–23.

[11] Sawant,H., Tan,J., Yang,Q., Wang,Q. (2004), Using Bluetooth and sensornetworks for intelligent transportation systems,IntelligentTransportation Systems, Proceedings. The 7th International IEEE Conference, 3(6), str. 767-772

[12] Barceló, J., Montero, L., Marqués, L., Carmon, C. (2010), Travel Time Forecasting and Dynamic Origin–destination Estimation for Freeways Based on Bluetooth Traffic Monitoring, J. Transp. Res. Board 2175, str. 19–27.

[13] Anonymous Wireless Address Matching (AWAM) proof of concept demonstration, Texas Transportation Institute, dostupno na: http://bit.ly/2izPqSL

[14] Hidle, E., Bluetooth can help local traffic flow, dostupno na: http://bit.ly/2werhER

[15] Day, C.M., Wasson,J.S., Brennan, T.M., Bullock, D.M. (2012), Application of Travel Time Information for Traffic Management, Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, Indiana

[16] Friesen, M.R., McLeod, R.D. (2015) Bluetooth in Intelligent Transportation Systems: A Survey, Int.J. ITS Res., 13, str.143-153.

[17] Libelium, Vehicle Traffic Monitoring Platform with Bluetooth Sensors over ZigBee, dostupno na: http://bit.ly/2wyDrKY

[18] Fernandez-Lozano, J.J., Martin-Guzman, M., Martin-Avila, J., Garcia-Cerezo-A. (2015) A Wireless Sensor Network for Urban Traffic Characterization and Trend Monitoring, dostupno na: http://bit.ly/2wxQP2a

[19] BLIDS, System for collecting traffic data, dostupno na: http://www.blids.cc/en/system

[20] Traffax Inc., About us, dostupno na: http://www.traffaxinc.com

[21] BlipTrack, BlipTrack Traffic Radar, dostupno na: http://blipsystems.com/bliptrack_radar

[22] Traffic Cast, BlueTOAD, dostupno na: http://trafficcast.com/bluetoad.html#who-we-are

[23] Iteris, Vanage Velocity, dostupno na: http://bit.ly/2vrxdZK

[24] Ben-Akiva, M., Bierlaire, Koutsopoulos, H.N., Mishalani, R. (2002) Real-time simulation of traffic demand-supply interactions within DynaMIT, u: Gendreau, M., Marcotte P. (Ur.), Transportation and network analysis: current trends, Kluwer Academic Publishers. Miscellenea in honor of Michael Florian, str. 19-36., dostupno na: http://bit.ly/2vgBvY0

[25] Harihran, Thogulava., Viktors, Antonovos., Simon, Bingham., Mark, Hill. (2015) Developing origin-destination matrices using Bluetooh dana for strategic transport models, dostupno na: http://abstracts.aetransport.org/paper/index/id/4662/confid/20

[26] Wang, X., Huang, S., Du, C. (1999) Development of a flood warning information system. Proceedings of the 19th Annual ESRI User Conference, San Diego, CA

[27] Barnett, J.C., Benekohal, R.F. (1999) Accident reduction effects of using weigh-in-motion and automatic vehicle identification for mainline bypass around truck weigh stations, Transp Res Rec, 1655, str. 233–240.

Popis slika:

Slika 1. Povezivanje uređaja Bluetooth vezama [1] 5
Slika 2. Temeljna značenja termina inteligentnog transportnog sustava [5] 10
Slika 3. Odluke o dizajnu praćenja Bluetooth prometa [16] 12
Slika 4. UIS Bluetooth čvor [18] 15
Slika 5. Dijagram UIS Bluetooth čvora [18] 16
Slika 6. BLIDS hardver [19] 17
Slika 7. Postavljenje BLIDS senzora [19] 17
Slika 8. Blufax senzor u zaštitnoj kutiji [20] 19
Slika 9. Blufax senzor u zaštitnoj kutiji [20] 20
Slika 10. BlipTrack senzor [21] 21
Slika 11. Vantage Velocity senzor [23] 23
Slika 12. Lokacije Bluetooth senzora [25] 25
Slika 13. Uzorak podataka o putovanjima [25] 28
Slika 14. Mapiranje MAC ID putova [25] 29
Slika 15. Mapiranje svih MAC ID putova za neki vremenski period [25] 29

Popis tablica:

Tablica 1. Primjer filtriranja 26
Tablica 2. Primjer filtriranja faze D 26
Tablica 3. Primjer filtriranja faze E 27
Tablica 4. Primjer slijeda puta 27

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **PRAĆENJE VOZILA U PROMETNOJ MREŽI POMOĆU BLUETOOTH SIGNALA** na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student:

U Zagrebu, 31.8.2017.

(potpis)