

PRIMENA IoT KONCEPTA U SAOBRAĆAJU

Snežana Mladenović, Ana Uzelac, Slađana Janković, Dušan Mladenović
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
snezanam@sf.bg.ac.rs, ana.uzelac@sf.bg.ac.rs,
s.jankovic@sf.bg.ac.rs, d.mladenovic@sf.bg.ac.rs

Sadržaj: *Nedostatak parking mesta, saobraćajne gužve, pronalaženje optimalnih ruta, regulisanje saobraćaja, itd. predstavljaju samo neke od svakodnevnih saobraćajnih problema. Pristupi rešavanju ovih problema evoluirali su u vremenu i na njih su uvek veliki uticaj imala aktuelna tehnička dostignuća. Stoga se može očekivati da će i Internet inteligentnih uređaja (IoT) kao prilično nov koncept inicirati unapređenje postojećih i podstaći razvoj novih rešenja. Ovaj rad daje pregled nekih prisutnih rešenja iz oblasti saobraćaja koja se baziraju na IoT konceptu i daje smernice za njegovu dalju primenu u ovoj oblasti.*

Ključne reči: *IoT, sistemi za nadzor saobraćaja, pametni putevi, pametni saobraćaj*

1. Uvod

Tradicionalne tehnologije koje se koriste u nadzoru i upravljanju saobraćajem prikupljaju podatke zahvaljući sistemima koji imaju kamere [1], magnetne petlje [2], lasere [3,4], infracrvene [5] i ultrazvučne detektore [6]. Npr. senzori tokom prosečnog leta jednog Airbus aviona generišu oko 1TB podataka. U drumskom saobraćaju, ovi uređaji se nalaze pored puta i na putu imaju ulogu da detektuju vozilo, vremenske uslove, itd. kako bi pružili precizne informacije o nekim parametrima saobraćaja na lokaciji na kojoj su instalirani. Nedostaci ovih tehnologija su veliki troškovi implementacije i kasnije veliki troškovi održavanja. Da bi se dobili precizni podaci o svim delovima puta neophodno je da uređaji budu gusto postavljeni, a to je jako skupo. Nove tehnologije nude mogućnosti za prevazilaženje ovih problema. Smatra se da primena Interneta inteligentnih uređaja (engl. *Internet of Things*, IoT) može da donese poboljšanja, smanji troškove i/ili uveća prihode u polju transporta [7].

IoT je nov koncept i u ovom trenutku postoji veliki broj njegovih definicija [8]. ITU (engl. *International Telecommunication Unit*) je jedna od organizacija koja vrši standardizaciju na polju telekomunikacija i definiše IoT kao globalnu infrastrukturu za informaciono društvo koja omogućuje napredne servise putem povezivanja (fizičkih i virtuelnih) "stvari" koje su zasnovane na već razvijenim interoperabilnim informacijama i komunikacionim tehnologijama kao i onima koje se tek razvijaju [9]. Mogućnosti primene ove tehnologije su raznovrsne: od e-zdravstva, monitoringa životne sredine, do pravljenja pametnih gradova, zgrada, učionica, itd. Ovaj koncept može naći ogromnu

primenu u svim vidovima saobraćaja. U ovom radu ćemo analizirati primenu ovog koncepta u drumskom saobraćaju: prevozna sredstva i putevi postaju “sve pametniji”; planiraju se rute korišćenjem informacija o aktuelnom stanju i vremenskim uslovima na putu, prave se sistemi za izbegavanje sudara, itd. Korišćenjem ovog koncepta učesnici u saobraćaju mogu da šalju korisne informacije ka centrima koji upravljaju saobraćajem, koji ih dalje mogu koristiti u kratkoročnom, operativnom upravljanju ili pri razvoju strategija upravljanja za duži period. Dinamičke informacije mogu biti korišćene i prilikom planiranja kretanja teretnih vozila, imajući na umu saznanja o trenutnim zastoјima, aerozagađenju, itd.

Naredne sekcije rada organizovane su na sledeći način: u drugoj će biti dat karatak opis IoT koncepta. Potom su analizirane i sistematizovane dosadašnje primene ovog koncepta u drumskom saobraćaju, a u četvrtoj sekciji je dat zaključak.

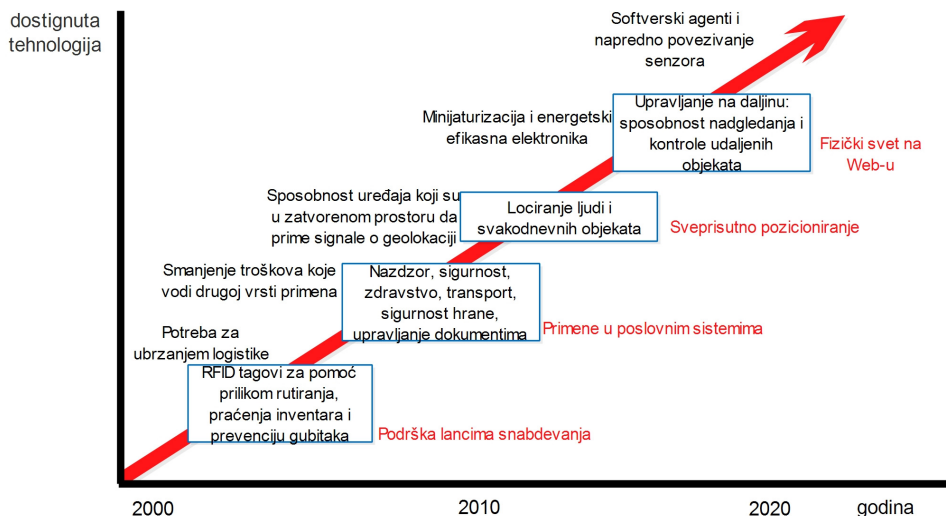
2. IoT koncept

Koncept Interneta se drastično menja pa od mreže koja povezuje milijarde računara polako prerasta u mrežu koja povezuje razne digitalne uređaje, svakodnevne objekte, odnosno “stvari”. “Stvar” se može definisati kao objekat iz fizičkog (“fizička stvar”) ili informacionog sveta (“virtuelna stvar”) koji ima sposobnost da bude identifikovan i integrisan u komunikacionim mrežama [9]. Informacione i komunikacione tehnologije su omogućile povezivanje “bilo kad” i “bilo gde”, dok IoT koncept dodaje novu dimenziju povezanosti “bilo čega”, pa tako omogućuje komunikaciju ne samo između računara već između ljudi bez korišćenja računara, kao i komunikaciju između ljudi i stvari, ali i samih stvari. Istraživači Gartner korporacije predviđaju da će do 2020. godine skoro 26 milijardi uređaja biti na IoT-u. Razvojni put IoT-a prikazan je na Slici 1.

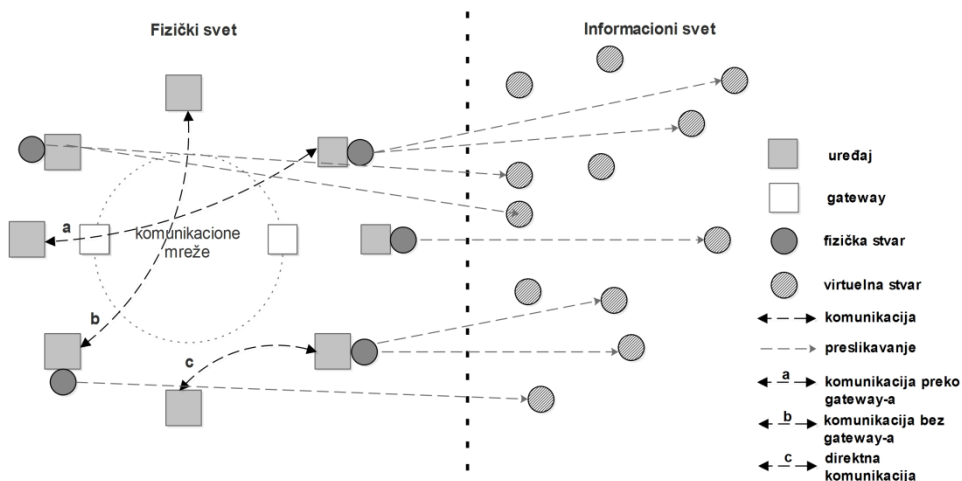
“Fizička stvar” se u informacionom svetu može predstaviti pomoću jedne ili više “virtuelnih stvari”, dok virtuelna stvar može da postoji nezavisno od “fizičke stvari”. “Uređaj” predstavlja deo opreme koji služi za komunikaciju, a može da ima i mogućnost opažanja, da bude aktuator, da skladišti podatke i da ih procesira. Uređaji prikupljaju informacije i prosleđuju ih dalje ka informacionim i komunikacionim mrežama radi kasnije obrade. Mogu i da komuniciraju sa drugim uređajima preko komunikacionih mreža sa ili bez gejtveja, ali i direktno bez njih. Komunikacione mreže imaju zadatak da sigurno i efikasno prenose podatke koje su prikupili uređaji, pri čemu se mogu koristiti već postojeće mreže zasnovane na TCP/IP protokolu, ali i neke nove razvijene za tu posebnu namenu. Tehnički prikaz IoT-a dat je na Slici 2.

Fundamentalne karakteristike IoT-a su [9]:

- **Povezanost:** bilo šta se može povezati sa globalnom informacionom i komunikacionom infrastrukturom;
- **Servisi zasnovani na objektima:** IoT ima mogućnost da pruža servise u vezi sa objektima;
- **Heterogenost:** iako su uređaji koji se povezuju heterogeni, oni mogu međusobno da komuniciraju;
- **Dinamičke promene:** stanje uređaja se dinamički menja, iz uspavanog stanja se prelazi u budno stanje, itd.;
- **Ogromne razmere:** broj povezanih uređaja kojima treba upravljati i koji međusobno komuniciraju je za bar jedan red veličine veći od broja trenutno povezanih uređaja na Internet.



Slika 1. Razvojni put IoT-a



Slika 2. Tehnički prikaz IoT-a [9]

IoT referentni model se sastoji od četiri sloja: aplikacionog, sloja koji služi kao podrška servisnom i aplikacionom, meznog sloja i sloja koji se odnosi na sam uređaj [9]. Sloj koji služi kao podrška servisnom i aplikacionom može da pruži opštu podršku kao što je procesiranje podataka i skladištenje pa može se koristiti od strane različitih IoT aplikacija, ali i specifičnu podršku koja se odnosi na posebne primene IoT-a. Mrežni sloj ima ulogu da kontroliše mrežnu komunikaciju i da vrši prenos informacija.

Broj uređaja koji se povezuju raste drastičnom brzinom, što uslovljava i sve veći broj IoT platformi. Ne postoji jedinstvena definicija IoT platforme, ali se može definisati

kao skup generičkih funkcionalnosti koje se koriste prilikom pravljenja IoT aplikacija [10]. IoT platforma ima mogućnost da pristupi podacima koje detektuju inteligentni uređaji, da ih čuva, skladišti i transformiše, ali i da te podatke sigurno poveže i integriše sa poslovnim procesima i sistemima. U [11] je predstavljeno pet trenutno najčešće korišćenih IoT platformi, prikazane su njihove karakteristike i urađena je komparativna analiza zasnovana na funkcionalnostima.

3. Primena IoT-a u saobraćaju

U literaturi su prisutni pregledni radovi koji se bave različitim definicijama IoT koncepta, pojmova u vezi s njim, opštim primenama [8], odnosno vizijom, arhitekturom, sastavnim delovima i očekivanim primenama u budućnosti zajedno sa prisutnim izazovima [12]. Takođe, postoji veliki broj radova u kojima su opisani različiti modeli primene IoT-a u saobraćaju, a realizovan je i veliki broj projekata s ciljem da se unapredi neki aspekt saobraćaja. Međutim, prema našim saznanjima, ne postoje pregledni radovi koji koncizno sistematizuju ovu oblast. Ovaj rad upravo ima zadatak da to uradi.

U radu [13] opisana je multikriterijumska analiza koja izračunava tzv. “*smartness index*” koji ima za cilj da odredi koliko je transportni sistem u nekom gradu “pametan”, da pomogne sagledavanju problema prisutnih u transportu kako bi se razvile odgovarajuće strategije za njihovo rešavanje.

Čest je slučaj da se kao deo projekta pametnog grada razvija i deo u kom se primenjuje IoT, kako bi se napravio servis koji treba da poboljša neki aspekt saobraćaja u datom gradu [14], [15]. U okviru Smart Santander [16] projekta realizovan je EAR-IT projekat (*Experimenting Acoustics in Real environments using Innovative Test-beds*) [14] čiji je fokus na analizi zvukova iz okruženja s ciljem da se izvedu zaključci o gustini saobraćajnog toka, postojanju zastoja, zauzetosti traka. Oko grada je instalirano više stotina jedinica koje su povezane na centralni procesor sa zadatkom da procesiraju zvuk. Ove jedinice imaju ugrađen mikrofon i računar koji izvršava programe za obradu zvuka, a povezane su i sa senzorima koji omogućuju precizno definisanje lokacije odakle zvuk dolazi. Prilikom prolaska vozila sa pravom prvenstva, Ear-IT ima mogućnost da prati zvuk sirene i da prilično tačno locira vozilo, a te informacije se koriste kako bi se olakšao prolaz vozilu sa pravom prvenstva do željene destinacije.

Drugi primer aplikacije razvijene u okviru pametnog grada služi za prikaz trenutno slobodnih parking mesta [15].

Jedan pravac istraživanja ide u smeru konstrukcije vozila koja mogu samostalno da se kreću, bez intervencije čoveka. Jedna od takvih inicijativa je pokrenuta u okviru *Google Car* projekta čiji je cilj da se napravi vozilo koje se samostalno kreće korišćenjem informacija o saobraćaju u realnom vremenu, uslova na putu, vremenskih uslova, itd., a jedna od tehnologija koja se za to koristi je IoT [17].

IoT donosi i novu vrstu transportnog sistema: pametni transportni sistem. Pametan transportni sistem predstavlja transportni sistem zasnovan na informacionim i komunikacionim tehnologijama koji se bavi rešavanjem problema u saobraćaju. Zasniva se na informacijama o lokaciji: posmatra se kretanje određenog broja vozila s ciljem da se dobiju informacije u vezi sa određivanjem vremena putovanja, uslovima putovanja, saobraćajnim nezgodama, itd. Neki od njihovih ciljeva su smanjivanje emisije štetnih gasova, određivanje najbolje moguće rute, lakša detekcija opasnosti.

Pametni transportni sistem prikazan u radu [18] sastoji se od jedinica koje se nalaze na putu i služe za monitoring trenja (engl. *Road side units* - RSU), senzora okruženja smeštenih u vozila i baze podataka. Sistem prikuplja podatke od RSU jedinica i vozila u pokretu i skladišti ih u bazu podataka. Na osnovu toga, sa zadovoljavajućom tačnošću određuje se stanje puta (da li ima leda, snega, da li je suv ili mokar kolovoz. Informacije o tome se prezentiraju korisnicima u vizuelnom formatu, a postoji mogućnost i da se vozači upoznaju da smanje brzinu. Sistem može koristiti i Služba za održavanje puteva koja na osnovu mape sa vizuelnim prikazom stanja pojedinih delova puta lakše locira deo puta gde treba intervenisati (npr. posuti so na one delove puta za koje je na mapi prikazano da su pokriveni ledom).

Stanje puta je moguće pratiti i korišćenjem akcelometra koji se nalazi na fiksnoj poziciji unutar vozila i snima vertikalne vibracije vozila frekvencijom od 50 Hz, a ti podaci se kasnije obrađuju [19]. Pored stanja puta, iz vozila koja se kreću moguće je pratiti i vremenske uslove [20].

Drugi primer pametnog transportnog sistema je prikazan u okviru projekta SMARTIE [21] koji je implementiran u Novom Sadu. Platforma SMARTIE predstavlja distribuiran *framework* koji objedinjuje heterogene izvore podataka i koristi aktuatora za poboljšanje protoka saobraćaja i povećanje njegove bezbednosti. Glavni cilj je da poveže što više različitih nezavisnih sistema kako bi se neregularne situacije rešile na najbrži i najefikasniji način. Sa SMARTIE mrežom su povezana vozila opremljena GPS uređajima, vozila javnog prevoza i pešaci pomoću pametnih telefona. Moguće je u realnom vremenu detektovati problem i korisnicima dati informacije o očekivanom vremenu putovanja, o zastojima, ograničenjima brzine, itd. On u sebi ima i sistem koji omogućuje menjanje svetla na semaforu kada prilazi vozilo sa pravom prvenstva, dok autorizovane osobe imaju ispred sebe prikaz saobraćajne situacije na koju mogu da utiču korišćenjem grafičkog korisničkog interfejsa. Svi podaci se čuvaju u strukturi oblaka (*cloud*) i nisu javno dostupni. Korisnici imaju mogućnost da korišćenjem pametnih telefona i odgovarajuće aplikacije saznaju vreme dolaska autobusa i da traže informacije za najbolju rutu za određenu destinaciju po različitim kriterijumima: najbrža ruta; ruta sa najmanjim brojem presedanja; ruta sa najmanje pešačenja; ruta koja vodi kroz specificiranu usputnu stanicu. Računanje najbolje rute je zasnovano na poziciji putnika, željenom odredištu i poziciji autobusa.

Postoje i radovi u kojima su predstavljeni kvantifikatori za određivanje trenutnog stanja u saobraćaju [22]. U radu [23] prikazana je iRide aplikacija koja u realnom vremenu dobija informacije od bežičnih senzora koji su instalirani na površinu puta, šalje ih na server gde se obrađuju i tako se računa trenutno stanje u saobraćaju i, ako je potrebno, obaveštava vozača o problemima na putu.

Saobraćaj je jedan od glavnih krivaca za veliku buku i loš kvalitet vazduha u gradovima, pa IoT može da se koristi s ciljem da se identifikuju delovi grada gde je kvalitet vazduha kritičan, kako bi se preduzele neophodne mere. Ecobus projekat [24] ima servis koji prikazuje informacije o kvalitetu vazduha, temperaturi, pritisku ili vlažnosti, u realnom vremenu na interaktivnoj mapi na mobilnom telefonu ili internet stranici. Projekat podrazumeva da vozila javnog gradskog preduzeća imaju zakačen skup senzora kojima mogu da registruju različite karakteristike okruženja kao što su prosečna brzina, broj stanica na ruti, vreme bavljenja vozila na svakoj od stanica. Opremljeni su i senzorima za CO, CO₂, NO₂, temperaturu, vazdušni pritisak, vlažnost, GPS-om i GPRS-

om. Sistem se može koristiti od strane ovlašćenih lica radi boljeg regulisanja saobraćaja, dok mu putnici mogu pristupiti korišćenjem web ili mobilne aplikacije.

Neki projekti se zasnivaju na VANET (*Vehicular Ad-hoc NETWORKS*) mrežama. VANET mreže uključuju komunikaciju između vozila, ali i komunikaciju između vozila i odgovarajuće infrastrukture. U jednom od njih, napravljena je aplikacija za mobilni telefon SMaARTDRIVE (*Systematic Management of Road Traffic*), kao i sistem za kontrolu saobraćajne signalizacije koji se koristi za oslobađanje puta vozilima sa pravom prvenstva. Vozila su opremljena OBU (engl. *On Board Unit*) jedinicama koje služe za skupljanje podataka dobijenih od različitih senzora, a na raskrsnicama se nalaze RSU jedinice (engl. *Road Side Units*). Na serveru je smeštena baza podataka i web aplikacija. Sistem emituje poruke u vezi sa saobraćajem i tako obaveštava vozača o saobraćajnoj situaciji u njegovoj okolini. Tako, vozači su na vreme upozoreni na blizinu vozila sa pravom prvenstva pa mogu da reaguju kako ih ne bi ometali i blokirali. I pešaci koriste SMaARTDRIVE aplikaciju tako što klikom na dugme obaveštavaju nadležne službe o nezgodama na putu, zagušenjima ili nekim drugim problemima. OBU jedinica koja se nalazi u vozilu može automatski da detektuje nezgodu u kojoj je to vozilo učestvovalo i izvestiti nadležne službe. RSU ima zadatak i da kontroliše saobraćajnu signalizaciju [25].

U nekim projektima se vrši kontrola saobraćaja tako što se sprečava neautorizovan pristup određenim lokacijama. U [26] je realizovana kontrola podizanja i spuštanja stubića koji služe kao prepreke i onemogućuju prolaz neautorizovanim licima. Stubići su opremljeni M2M uređajem koji komunicira sa centralnim M2M serverom kako bi proverio listu autorizovanih građana koji imaju pravo da priđu nekom zaštićenom području.

U velikom broju radova opisuje se i korišćenje sve prisutnijih “pametnih telefona. Primena pametnih telefona u saobraćaju se najčešće vezuje za pojam “*crowd-sourcing*”. *Crowd-sourcing* predstavlja “mudrost gomile” – fenomen koji se odnosi na to da je rešenje do kog je došao skup ljudi kao grupa bolje od rešenja do kog su došli pojedinci samostalno [27]. *Crowd-sourcing* se sve više koristi u raznim oblastima, a u saobraćaju se može uspešno koristiti prilikom pronalaženja optimalne rute, gde se rangiranje konkretne rute vrši na bazi pojedinačnih rangiranja te rute od strane velikog broja korisnika [28]. Prilikom pronalaženja optimalnih ruta *crowd-sourcing* se može kombinovati sa još nekim algoritmom kako bi se dobili što bolji rezultati [29].

Jedna od primena mobilnih telefona je i za klasifikaciju saobraćajnica po kojima se vozi s ciljem da se detektuju anomalije [30]. Pored detekcije anomalija, mobilni telefoni se mogu koristiti za praćenje uslova u saobraćaju i praćenje kretanja pešaka u gradu [31]. Da bi se to postiglo neophodno je integrisati podatke dobijene sa mobilne mreže sa podacima koji su dobijeni od strane taksi vozila i autobusa koji su opremljeni GPS uređajima. U okviru projekta razvijena je i aplikacija koja registruje lokacije mobilnih telefona tj. ljudi koji se nalaze u prevozu, i na osnovu toga računa brzinu kretanja. U zavisnosti od izračunate brzine, pravi se mapa na kojoj se označavaju delovi grada gde se vozila kreću otežano. Mobilni uređaji se mogu koristiti i za određivanje vremena koliko će trajati put, za šta se može koristiti GPS uređaj ako je dostupan, odnosno WiFi, a izračunavanja su zasnovana na skrivenim lancima Markova [32].

IoT se može koristiti i za neke specijalizovane primene, kao što je aplikacija namenjena vozačima kamiona u rudnicima koja pokazuje bezbedne rute u uslovima smanjene vidljivosti [33].

Tabela 1. Pregled projekata: [A] monitoring saobraćaja ili puta; [B] regulisanje saobraćaja; [D] traženje optimalnih ruta; [E] specijalizovana namena

Naziv	Funkcija	Osnovne karakteristike
EAR-IT [14]	[A], [B]	Analizom zvukova iz okruženja izvode se zaključci o gustini saobraćaja, postojanju zastoja, zauzetosti traka; lociranje vozila s pravom prvenstva i obezbeđivanje njegovog neometanog prolaza
[15]	[A]	Prikaz slobodnih parking mesta
Google Car [17]	[E]	Vozilo koje se samostalno kreće
Tampere IoT ITS [18]	[A]	Određivanje stanja puta i pravljenje mape sa vizuelnim prikazom stanja pojedinih delova puta; prezentacija relevantnih podataka o saobraćaju
[19]	[A]	Određivanje stanja puta korišćenjem akcelerometra koji se nalazi na fiksnoj poziciji unutar vozila i snima vertikalne vibracije
[20]	[A]	Praćenje vremenskih uslova iz vozila koja se kreću
SMARTIE [21]	[B], [D]	Mogućnost detekcije problema u realnom vremenu i prikaz informacija o vremenu putovanja, zastojima; menjanje svetla na semaforu kad prolazi vozilo sa pravom prvenstva; određivanje najbolje rute za određenu destinaciju
WKDE [22]	[A]	Kvantifikator za određivanje trenutnog stanja saobraćaja
iRide [23]	[A]	Pomoću bežičnih senzora koji se nalaze na površini puta računa se trenutno stanje u saobraćaju i obaveštavaju se vozači
Ecobus [24]	[A], [B]	Servis koji prikazuje informacije o kvalitetu vazduha, temperaturi, pritisku ili vlažnosti u realnom vremenu na interaktivnoj mapi na mobilnom telefonu ili internet stranici; mogu ga koristiti i ovlašćena lica kako bi bolje regulisala saobraćaj
SMaRTDRIVE [25]	[A], [B]	Zasnovan na VANET mrežama; sistem emituje poruke u vezi sa saobraćajem i omogućava izveštavanje vozača o događajima u njegovoj okolini; kontrola saobraćajne signalizacije; mogućnost automatskog detektovanja nezgode
INVENTO [26]	[B]	Sprečavanje neautorizovanog pristupa vozila pomoću stubića koji predstavljaju prepreku
[30]	[A]	Klasifikacija puteva i detekcija anomalija na putu
LoCHNES [31]	[A]	Praćenje uslova u saobraćaju i detekcija kretanja pešaka
3D-ADS [33]	[E]	Prikaz bezbednih ruta u slučaju smanjene vidljivosti

Iako je ogroman broj radova, zbog ograničenog prostora, izostavljen iz ovog pregleda, može se zaključiti da razvijeni sistemi, bazirani na IoT konceptu, imaju različite funkcionalnosti kao što su: posmatranje saobraćaja ili puta, regulisanje saobraćaja, mogućnost traženja optimalnih ruta, kao i neke specijalizovane namene kao što su

samostalna vožnja. Realizovani projekti retko se ograničavaju na jednu funkcionalnost. U Tabeli 1 je dat pregled opisanih projekata i implementiranih funkcionalnosti.

4. Zaključak

Sve više vozila na saobraćajnicama utiče na povećanje aerozagađenja i nivoa buke, smanjuje bezbednost učesnika u saobraćaju, povećava troškove transporta, produžava vreme putovanja, itd. Rastuće gradsko stanovništvo se svakodnevno suočava sa problemom parkiranja, izbegavanja zagušenih saobraćajnica i zastoja, izborom najbolje rute saglasno nekom kriterijumu, obezbeđivanja vozila od krađe, itd.

Potreba za unapređenjem svih aspekata saobraćaja je realna, posebno u velikim gradovima. Npr. automatska identifikacija vozila bazirana na IoT-u može pružiti podršku ovlašćenim službama u regulisanju saobraćaja, održavanju nivoa buke i aerozagađenja u dozvoljenim granicama, prepoznavanju obrazaca ponašanja vozača, itd. Dodatni servisi bi bili npr.: detekcija krađe, elektronska naplata putarine i automatska detekcija i prijavljivanje saobraćajne nezgode.

Postojeću saobraćajnu infrastrukturu moguće je kombinovati sa IoT-om, a gde to nije moguće, IoT može bez velikih ulaganja zameniti postojeću, zahvaljujući sveprisutnim “pametnim” uređajima. IoT ima brojne prednosti, ali donosi i jedan broj izazova prvenstveno onih koji se tiču sigurnosti, pouzdanosti i poverenja u IoT.

Sa razvojem “pametnih” uređaja drastično raste i količina podataka koje oni generišu. Stoga je danas aktuelano pitanje: kako skladištiti, obraditi i na svrsishodan način upotrebiti te ogromne količine podataka? Ovaj rad predstavlja prvi korak našeg budućeg istraživanja koji treba da poveže IoT i Big Data koncept pre svega u domenu saobraćaja.

Zahvalnost

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekata pod brojem 032025.

Literatura

- [1] T. Semertzidis, K. Dimitropoulos, A. Koutsia, and N. Grammalidis, “Video sensor network for real time traffic monitoring and surveillance”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 4(2), pp. 103–112, 2010.
- [2] L. Zhang, R. Wang, and L. Cui, “Real-time traffic monitoring with magnetic sensor networks”, *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, vol. 27(4), pp. 1473–1486, 2011.
- [3] N. Gallego, A. Mocholi, M. Menendez, and R. Barrales, “Traffic monitoring: Improving road safety using a laser scanner sensor”, *Proceedings of Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference*, pp. 281–286, 2009.
- [4] H. Zhao, C. Wang, W. Yao, J. Cui, and H. Zha, “Vehicle trajectory collection using on-board multi-lidars for driving behavior analysis”, *7th International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering*, vol. 214, pp. 659–671, 2012.

- [5] Y. Iwasaki, M. Misumi, and T. Nakamiya, "Robust vehicle detection under various environmental conditions using an infrared thermal camera and its application to road traffic flow monitoring", *Sensors*, vol. 13(6), pp. 7756–7773, 2013.
- [6] V. Agarwal, N. V. Murali, and C. Chandramouli, "A cost-effective ultra-sonic sensor-based driver-assistance system for congested traffic conditions", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 10(3), pp. 486–498, 2009.
- [7] Frost & Sullivan, "Frost & Sullivan: Internet of things (IoT) a pivotal catalyst for the ict industry in 2014", Press Release, November 2013, Available: <http://www.frost.com/prod/servlet/press-release.pag?docid=288040887>.
- [8] L. Atzori, A. Iera and G. Morabito, "The Internet of Things: A Survey", *Computer Networks*, vol. 54, pp. 2787-2805, 2010.
- [9] ITU-T, Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union, "Overview of the Internet of things", *Recommendation ITU-T Y.2060*, Available at: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-I>, 2012.
- [10] M. Castro, A. Jara, and A. F. Skarmeta, "An Analysis of M2M Platforms: Challenges and Opportunities for the Internet of Things", *Sixth International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*, pp. 757–762, 2012.
- [11] A. Uzelac, S. Mladenović, D. Zoranović, S. Zdravković, i S. Janković, "Komparativna analiza IoT platformi", *XLII Simpozijum o operacionim istraživanjima*, str. 186-189, 2015.
- [12] M. U. Farooq, M. Waseem, S. Mazhar, A. Khairi, and T. Kamal, "A Review on Internet of Things (IoT)", *International Journal of Computer Applications*, vol. 113(1), Available at: <http://research.ijcaonline.org/volume113/number1/pxc3901571.pdf>, 2015.
- [13] S. Wibowo, and S. Grandhi, "A Multicriteria Analysis Approach for Benchmarking Smart Transport Cities", *Science and Information Conference*, pp. 94-101, 2015.
- [14] Ear-IT, Available at: www.ear-it.eu
- [15] M. D. Marquez, A. Lara, and R. X. Gordillo, "A New Prototype of Smart Parking Using Wireless Sensor Networks", *IEEE Colombian Conference on Communications and Computing*, pp. 1-6, 2014.
- [16] SmartSantander, Available at: www.smartsantander.eu
- [17] Google Official Blog, "What we're driving at", Available at: <https://googleblog.blogspot.rs/2010/10/what-were-driving-at.html>.
- [18] P. Pyykönen, J. Laitinen, J. Viitanen, P. Eloranta and T. Korhonen, "IoT for Intelligent Traffic System", *IEEE International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing*, pp. 175 – 179, 2013.
- [19] B. Syed, A. Pal, K. Srinivasarengan, and P. Balamuralidhar, "A Smart Transport Application of Cyber-Physical Systems: Road Surface Monitoring with mobile devices", *Sixth International Conference on Sensing Technology*, pp. 8-12, 2012.
- [20] M. Kutila, P. Pyykönen, K. Kauvo, and P. Eloranta, "In-vehicle sensor data fusion for road friction monitoring", *IEEE 7th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing*, pp. 349 – 352, 2011.
- [21] J. M. Bohli, A. Skarmeta, M. V. Moreno, D. Garcia, and P. Langendbrfer, "Smartie Project: Secure IoT Data Management for Smart Cities", *International Conference on Recent Advances in Internet of Things*, pp. 1-6, 2015.
- [22] B. Y. S. Li, L. F. Yeung, and K. F. Tsang, "Analysing traffic condition based on IoT technique", *IEEE International Conference on Consumer Electronics*, pp. 1-4, 2014.

- [23] M. Elkotob and E. Osipov, "iRide: A Cooperative Sensor and IP Multimedia Subsystem Based Architecture and Application for ITS Road Safety", *Proceedings of EuropeComm*, vol. 16(3), pp. 153-162, 2009.
- [24] S. Krco, J. Vuckovic, and S. Jokic, "ecoBus – Mobile Environment Monitoring", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6481, pp.189-190, 2010.
- [25] P. A. Sumayya and P. S. Shefeena, "VANET Based Vehicle Tracking Module for Safe and Efficient Road Transportation System", *International Conference on Information and Communication Technologies*, vol. 46, pp. 1173-1180, 2015.
- [26] L. Foschini, T. Taleb, A. Corradi, D. Bottazzi, and G. Marconi, "M2M-Based Metropolitan Platform for IMS-Enabled Road Traffic Management in IoT", *IEEE Communications Magazine*, vol. 49(11), pp. 50–57, 2011.
- [27] J. Surowiecki, *The wisdom of crowds*. Knopf Doubleday Publishing Group, 2005.
- [28] H. Su, K. Zheng, J. Huang, H. Jeung, L. Chen and X. Zhou, "Crowdplanner: A crowd-based route recommendation system", *IEEE 30th International Conference on Data Engineering*, pp.1144–1155, 2014.
- [29] J. Yu, K. H. Low, A. Oran, and P. Jaillet, "Hierarchical bayesian non parametric approach to modeling and learning the wisdom of crowds of urban traffic route planning agents", *Inter. Conference on Intelligent Agent Technology*, vol. 2, pp. 478–485, 2012.
- [30] Y. Tai, C. Chan, and J. Hsu, "Automatic road anomaly detection using smart mobile device", *Conference on Technologies and Applications of Artificial Intelligence - TAAI2010*, [Online], November 2010.
- [31] F. Calabrese, M. Colonna, P. Lovisolo, D. Parata, and C. Ratti, "Real-Time Urban Monitoring Using Cell Phones: A Case Study in Rome", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 12(1), pp. 141-151, 2011.
- [32] A. Thiagarajan, L. Ravindranath, K. LaCurts, S. Madden, H. Balakrishnan, S. Toledo, and J. Eriksson, "Vtrack: Accurate, energy-aware road traffic delay estimation using mobile phones", *7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 85–98, 2009.
- [33] E. Sun, X. Zhang and Z. Li, "Internet of things based 3D assisted driving system for trucks in mines", *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, pp. 510-513, 2011.

Abstract: *Shortage of parking spaces, traffic jams, finding optimal routes, traffic regulations problems are only few of the everyday traffic challenges. There are different approaches for solving these problems and technological developments were evolving through time making the impact on the applications present in the traffic domain. Therefore, it is expected that the recent emerge of Internet of Things (IoT) will initiate the improvements of the existing solutions and encourage the developments of the new ones. This paper summarizes the present applications in the traffic domain based on the IoT concept and represents a guidance for its further improvements.*

Keywords: *IoT, traffic surveillance system, smart roads, smart traffic*

APPLICATIONS OF IoT IN TRAFFIC

Snežana Mladenović, Ana Uzelac, Slađana Janković, Dušan Mladenović