

MOGUĆNOSTI PRIMENE SENZORSKIH MREŽA U MERENJU SAOBRAĆAJNE BUKE

Stefan Zdravković, Snežana Mladenović, Dušan Mladenović
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
s.zdravkovic@sf.bg.ac.rs; snezanam@sf.bg.ac.rs; d.mladenovic@sf.bg.ac.rs

Rezime: *Dosadašnja istraživanja ukazuju da se saobraćajna buka, koja se poslednjih godina u urbanim sredinama konsantanto povećava, smatra važnim ekološkim problemom koji vrši negativan uticaj na zdravlje čoveka i životnu sredinu. Unapređenje postojećih sistema za merenje buke drumskog saobraćaja ogleda se u kontinualnom i preciznom merenju parametara emitovanja buke u realnom vremenu kako bi se blagovremeno preduzele odgovarajuće mere. Ovaj rad predstavlja istraživanje mogućnosti primene senzorskih mreža u razvoju sistema za merenje buke drumskog saobraćaja. Osnovna ideja je da se svi podaci prikupljeni putem senzora obrađuju, skladište i analiziraju centralizovano. Ovakav sistem, koji treba da omogući ne samo monitoring već i upravljanje bukom u realnom vremenu u urbanim sredinama, neizostavni je deo koncepta pametnih gradova. U radu su razmatrani složeni i široko raspostranjeni problemi merenja zagađenja bukom koji nemaju jedinstveno rešenje.*

Ključne reči: *saobraćajna buka, senzorske mreže, IoT*

1. Uvod

Saobraćajna buka smatra se jednim od glavnih problema urbanih sredina usled povećanog broja vozila na saobraćajnicama [1, 2]. Poslednjih godina, sve više vrednosti parametra kojima se meri saobraćajna buka utiču na uznemirenost, zdravstvene probleme kod ljudi i dovode do ugrožavanja životne sredine [3]. Sistemi za upravljanje saobraćajem i saobraćajni kontrolni centri imaju značajnu ulogu u kontroli nivoa saobraćajne buke, kako ograničavanjem brzine vozila, smanjenjem obima saobraćaja u određenim zonama i preusmeravanjem određenih kategorija vozila na mreži saobraćajnica [4]. U većini zemalja, pa i u Republici Srbiji, postoji pravna regulativa koja propisuje “indikatore buke u životnoj sredini, granične vrednosti, metode za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke na zdravlje ljudi” [5]. Granične vrednosti indikatora buke na otvorenom prostoru zavise od namene prostora i razlikuju se da za dan i veče i za noć, i ograničene su na max 65 dBA. Nivo buke od saobraćaja iznad 65 dBA je neprihvatljiv u neseljenim mestima. Stambena područja najčešće se nalaze u akustičnim oblastima sa bukom opsega od 55 do 65 dBA [6]. Teretna vozila, vozila javnog prevoza (autobusi i tramvaji) generišu viši nivo buke od ostalih vozila što posebno dolazi do izražaja u gradovima. Rešenje u ovakvim slučajevima može biti uvođenje električnih ili hibridnih

autobusa u sistem javnog prevoza putnika uz odgovarajuće regulisanje tranzitnog saobraćaja pomoću inteligentnih transportnih sistema.

Merenje saobraćajne buke je veoma važno za kreiranje lokalnih mapa buke koje se koriste za urbano planiranje i razvoj gradova zaštićenih od njenih štetnih efekata [7]. Tradicionalne tehnologije merenja buke karakterišu veliki troškovi implementacije i kasnijeg održavanja i zavisnost od ljudskog faktora. Monografija Springer-a [8] inteligentne transportne sisteme zajedno sa bežičnim komunikacijama prepoznaje kao osnovu za izgradnju pametnih gradova.

Bežične senzorske mreže zastupljene su u mnogim oblastima, dok poseban doprinos imaju u oblasti saobraćaja. Različiti senzori poput akcelometra, senzora za merenje temperature, zvuka, pritiska, vlažnosti vazduha i emisije izduvnih gasova, omogućavaju merenje parametra koji služe kao osnova za upravljanje pametnim saobraćajnim sistemima i utiču na smanjenje štetnih efekata saobraćaja na životnu sredinu [9]. Internet inteligentnih uređaja (*Internet of Things*, IoT) predstavlja globalnu infrastrukturu koja omogućava razvoj okruženja u kojem se podaci prikupljeni putem bežičnih uređaja prenose putem Interneta. Međutim, povećanjem broja IoT uređaja raste i kompleksnost upravljanja njima. Veoma velika količina podataka, koja se generiše svake sekunde, prouzrokuje enorman rast protoka podataka među IoT uređajima. Dosadašnja vizija IoT-ja, orijentisana ka jedinstvenim IP adresama svakog povezanog uređaja na Internet mrežu, postaje komplikovana i neefikasna. Ograničenja softvera i hardvera se, pored protokola usmeravanja, ogledaju i u pokrivenosti, kontroli pristupa medijumima i mogućnosti upravljanja uređajima [10]. Usled problema jedinstvenog identifikovanja prikupljenih podataka sa nekoliko uređaja, buduća vizija teži ka praćenju svih uređaja specijalizovanom tehnologijom poput RFID (*Radio Frequency IDentification*) tagova [9, 11]. Smanjenje troškova moguće je ostvariti primenom *Cloud Computing*-a koji može virtuelnom infrastrukturom da omogući integrisano upravljanje uređajima, skladištenje, analitičke alate, kao i platforme vizuelizacije [12, 13]. Merenje parametara saobraćaja moguće je vršiti upotrebom raznih senzorskih uređaja na platformama poput *Arduino*, *Raspberry Pi*, *Waspote*, *Intel Galileo*, itd. Glavne karakteristike ovih platformi su relativno niska cena i mogućnost jednostavne primene velikog broja senzora. Dodatne prednosti ovih platformi su mogućnost bežične komunikacije putem tehnologija: *Wi-Fi*, *ZigBee*, *Bluetooth*, *LoRa*, *Sigfox*, GSM (*Global System for Mobile telecommunications*) /GPRS (*General Packet Radio Services*)/4G/5G, RFID/NFC (*Near Field Communication*). Kombinacijom različitih tehnologija, može se postići potrebna brzina protoka podataka, pokrivenost, energetska efikasnost, kao i mogućnost interoperabilnosti različitih uređaja.

Naredne sekcije rada su organizovane na sledeći način: u drugoj je dat kratak pregled dosadašnjih istraživanja u domenu merenja saobraćajne buke, u trećoj je dat predlog arhitekture bežične senzorske mreže za merenja saobraćajne buke, dok sekcija 4 nudi zaključak i pravce daljeg istraživanja.

2. Pregled dosadašnjih istraživanja

Konceptom održivih gradova (*sustainable cities*) bave se stručnjaci različitih specijalnosti već skoro 30 godina. Jedan od stubova održivih gradova je upravo životna sredina, a druga dva stuba, društvo i ekonomija, su njime limitirani. Negativan uticaj buke na zdravlje čoveka i životnu sredinu pojedini opazu svakodnevno, to predstavlja glavnu motivaciju za mnogobrojna istraživanja u ovoj oblasti. Sprovedene studije istraživale su

metode koje utiču na smanjenje saobraćajne buke i uglavnom su usmerene: na modele saobraćajne buke [14], mapiranja buke [15, 16] i procene buke [19, 20]. Modeli koji su do sada razvijani uključivali su empirijski formulisanu emisiju štetnih gasova vozila i buku od saobraćaja [19]. Houzu [20] je predložio metod za detekciju izvora buke od vozila u zasićenim saobraćajnim tokovima i mapiranje intenziteta tako da istraživač može da prepozna i lokalizuje izvor (emisiju) buke sa udaljene lokacije. Sistem se sastoji se od niza mikrofona raspoređenih po određenom šablonu koji su postavljeni iznad saobraćajne trake. U testu na terenu, niz mikrofona visio je 4 metra iznad test staze. Vozila koja su prolazila ispod mikrofona detektovana su sa dobrom preciznošću. Međutim, testiranje sistema u realnim uslovima vožnje, npr. na autoputu sa više saobraćajnih traka, gde smetnje iz susednih traka mogu biti značajne, do sada nije pronađeno u literaturi. U sledećem istraživanju ista grupa autora [21] putem integrisanog sistema kontinuirano prati nivo emisije buke od vozila u potrazi za njenom maksimalnom vrednošću, obaveštavajući vozače posmatranih vozila putem elektronskog displeja na putu. Sistem takođe sadrži kamere za snimanje vozila kako bi se izvršila identifikacija tipa vozila. Testiranje je sprovedeno na test stazi, a potom i na obližnjem javnom putu sa dve saobraćajne trake. Primećena je velika tačnost u slučajevima kada u nekoj od traka prolazi vozilo brzinom do 50km/h. Međutim, u slučajevima kada istovremeno u obe trake prolaze vozila velikim brzinama, performanse sistema nisu prikazane.

Na tehničkom fakultetu u Singapuru 2014. godine razvijen je sistem za automatsko praćenje nivoa buke u jednoj saobraćajnoj traci i sprovedeno istraživanje u saradnji sa Nacionalnom agencijom sa zaštitu životne sredine. Implementirani sistem daljinskim putem procenjuje nivo zvučnog pritiska svakog vozila koje prolazi u posmatranoj traci, a pomoću video kamera vrši se prepoznavanje tablica posmatranog vozila. Sistem takođe identifikuje i filtrira lažnu uzbunu u slučajevima smetnji iz susednih traka. Pored toga, sistem je kalibrisan na testu sa simulacijom zvuka vozila i testiran u realnom saobraćaju, postavljanjem senzora na mostu koji se nalazi iznad autoputa [22].

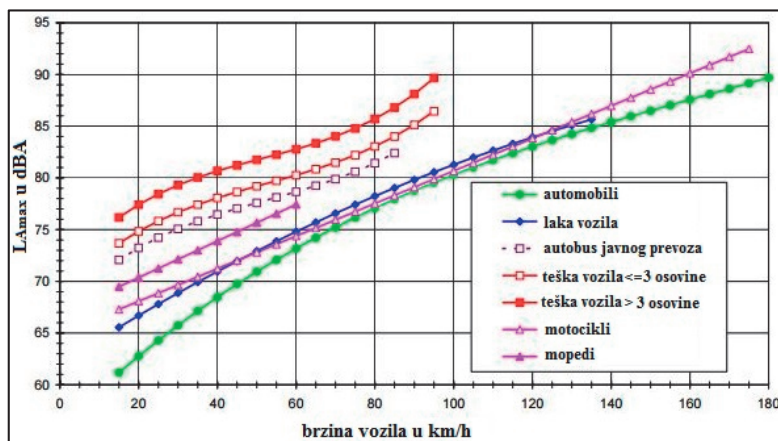
Prethodno spomenuta istraživanja bila su fokusirana na izvor saobraćajne buke pri kretanju vozila. U Tabeli 1 mogu se videti izmereni nivoi buke generisani različitim izvorima buke.

Tabela 1. Nivoi zvuka generisani različitim izvorima buke [23]

Izvor buke	dBA
Srednji saobraćaj	75
Težak saobraćaj	85
Metro, motocikl, teretni saobraćaj	90-100
Kamion za smeće	100
Sirena vozila hitne pomoći, preletanje aviona	120

Prema [23] najviši nivo buke prouzrokuju kamioni za transport smeća i sirene vozila hitnih službi, izazivajući buku od čak 120 dBA. Vozila hitnih službi mogu da budu problematičan izvor buke za stanovnike koji žive u blizini bolnica, policijskih ili vatrogasnih stanica. Veoma važan aspekt merenja buke u saobraćaju je način samog odvijanja saobraćaja. Na većini gradskih saobraćajnica, teška teretna vozila čine mali udeo u ukupnom saobraćajnom toku, a najčešće se i kreću malim brzinama. U laka teretna vozila spadaju vozila čija ukupna masa ne prelazi 3500kg. Na autoputevima brzina kretanja lakih vozila je znatno veća, pa i pored velikog broja teških vozila oni dominiraju u emisiji buke.

Međutim, teška vozila će dominirati u nivou LA_{eq} (prosečno emitovannje buke tokom jednog posmatranog sata) na putu samo u slučajevima sa izrazito velikim procentom učešća teških vozila ili ukoliko ne postoje razlike u brzini kretanja lakih i teških vozila. Na Slici 1 prikazana je emisija buke u zavisnosti od brzine kretanja određenih kategorija vozila. Parametar LA_{max} predstavlja prosečan maksimalan izmereni nivo zvuka tokom perioda posmatranja.



Slika 1. Prosečne LA_{max} vrednosti za različite kategorije vozila [24]

Na Slici 1 može se uočiti važnost uticaja kategorije vozila na vrednost parametra LA_{max} u zavisnosti od kateogrije vozila pri normalnom odvijanju saobraćaja. Isto tako, očigledne su razlike u zavisnosti od veličine vozila. Na primer, pri brzini kretanja od 60 km/h, kod teških vozila sa više od 3 osovine izmerena je vrednost LA_{max} od 83 dBA, dok teška vozila koja imaju do 3 osovine ostvaruju 80 dBA. Vrednost LA_{max} za autobus javnog prevoza iznosi 79 dBA, za kombi vozilo 75 dBA, za motocikl 74 dBA i za automobile 73 dBA. Smanjenjem intenziteta saobraćaja može se ostvariti i smanjenje emitovanja buke. U izveštaju Evropske komisije iz 2008. godine ustanovljeno je da u situaciji sa nepromenjenim učešćem tipova vozila u saobraćaju i sa njihovim nepromenjenim brzinama, prirodni logaritam dBA skale rezultuje time da 50% smanjenje obima saobraćaja utiče na smanjanje nivoa buke za 3dBA. U Tabeli 2 može se videti kako promena obima saobraćaja utiče na nivo buke.

Tabela 2. Efekat promene obima saobraćaja na nivo buke [25]

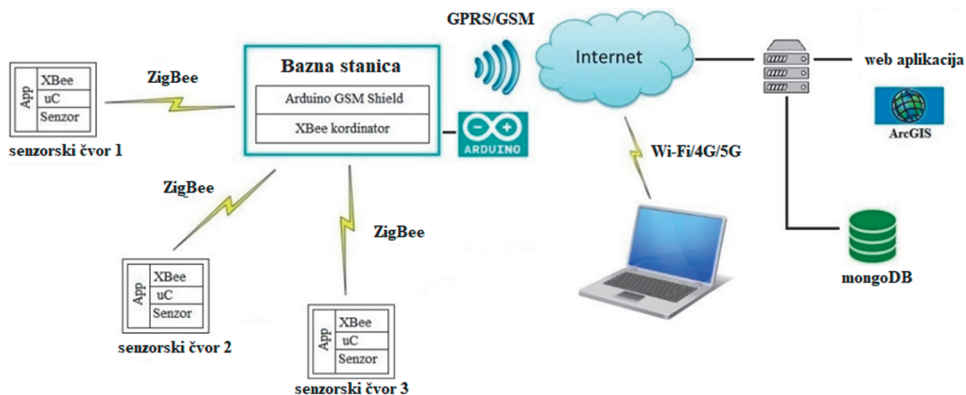
Smanjenje obima saobraćaja	Smanjene buke (LA_{eq})
10%	0.5 dBA
20%	1.0 dBA
30%	1.6 dBA
40%	2.2 dBA
50%	3.0 dBA
75%	6.0 dBA

Smanjenje gustine saobraćajnog toka na putevima dovodi do povećanja brzine vozila ukoliko se ne preduzmu mere kontrole i ograničenja brzine. Povećanjem brzine

vozila, buka od saobraćajnog toka će se ipak smanjiti u odnosu veću gustinu toka usled smanjenja masovnih ubrzavanja ili usporavanja vozila.

3. Arhitektura sistema za merenje saobraćajne buke

Glavni izazov prilikom realizacije sistema za praćenje parametara saobraćaja odnosi se na izbor odgovarajuće platforme za postavljanje senzora, kao i bežičnih tehnologija za komunikaciju uređaja i senzora. U zavisnosti od tipa istraživanja, merenje saobraćajne buke moguće je sprovesti na raskrscima, kružnim tokovima ili na putevima sa jednom ili više saobraćajnih traka, pri čemu je neophodno voditi računa o mogućnostima uticaja i drugih faktora koji izazivaju buku. Hardverska infrastruktura treba da bude obezbeđena konstantnim izvorom napajanja i izolovana od spoljnih uticaja. Ovo se uglavnom postiže postavljanjem opreme u plastične kutije. Merni uređaji postavljaju se neposredno pored puta na montažne stubove, udaljenosti do jednog metra od ivice saobraćajne trake. Na istim stubovima moguće je ugraditi i solarne panele koji će obezbediti primarni izvor napajanja senzorskih uređaja. Sprovođenje istraživanja treba obaviti u periodu normalnog odvijanja saobraćaja; dakle treba eliminisati uslove vremenskih nepogoda, godišnjih odmora, radova na određenim delovima infrastrukture, itd. Bežične senzorske mreže omogućavaju merenje saobraćajne buke na saobraćajnicama uz niske troškove implementacije i održavanja i lako raspoređivanje senzora. Ove mreže se sastoje od skupa senzorskih čvorova i jedne pristupne tačke. Čvorovi sadrže senzore, mikroprocesor, radio i bateriju, sve upakovano u prigodne kutije. Mreža bežičnih senzora nudi mnogo veću fleksibilnost, jeftiniju i lakšu instalaciju i održavanje, u odnosu na merenje koje zahteva stalno prisustvo ljudi. Izgradnja bežične senzorske mreže zahteva razvoj i integraciju hardverskih i softverskih komponenti [26]. Na Slici 2 može se videti predlog arhitekture sistema za merenje saobraćajne buke korišćenjem bežične senzorske mreže zasnovane na *Arduino* platformi. Sličan sistem, zasnovan na *ZigBee* tehnologiji, predstavljen je u [27], ali on koristi sopstvenu platformu a ne neku *open-source* tipa npr. *Arduino*.



Slika 2. Moguća arhitektura sistema za merenje saobraćajne buke

Postoji nekoliko tipova procesorskih uređaja koji se ugrađuju u bazne stanice, svaki ima svoje prednosti i nedostatke, a izbor zavisi od projekta i tipa istraživanja. Neki od najčešće korišćenih uređaja su *Arduino*, *Raspberry Pi*, *Waspote Libelium*, i upravo oni će biti razmotreni u tekstu koji sledi.

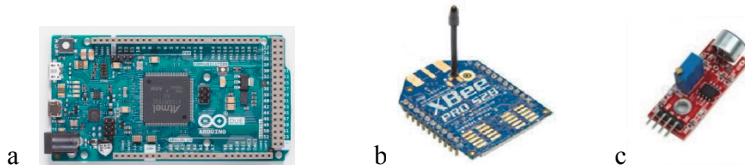
Arduino platforma sadrži programski mikrokontroler koji je prvenstveno namenjen za čitanje podataka sa senzora, obradu podataka i slanje informacija udaljenom serveru. Karakteriše ga veoma lako upravljanje analognim sensorima, motorima, relejima i drugim elektronskim komponentama uz pomoć samo par linija koda. *Raspberry Pi* je složeniji, zahteva instaliranje programskih biblioteka i softverskih alata za upravljanje sensorima. *Arduino* uređaji ne koriste operativni sistem tako da se mogu uključiti ili isključiti u proizvoljnom trenutku bez rizika od oštećenja. S druge strane, *Raspberry Pi* koristi operativni sistem koji se mora isključiti na propisani način; u suprotnom, operativni sistem i aplikacije koje su pokrenute na njemu mogu biti oštećene. *Raspberry Pi* predstavlja veoma moćan hardver, i kao takav zahteva stalno napajanje strujom koje je teško postići baterijama, za razliku od *Arduino* uređaja koji se mogu napajati i eksternim baterijama i zbog toga nalazi širu primenu. *Raspberry Pi* platforma se koristi u projektima koji su više softverski nego hardverski bazirani, s obzirom da rade na *Linux* platformi.

Poslednjih godina sve veću zastupljenost na tržištu beleži i *Waspote* platforma kompanije *Libelium*. Koristi se kod aplikacija sa malom potrošnjom električne energije i omogućava čvorovima mreže nezavisan rad. Životni vek baterije je do pet godina u zavisnosti od namene i načina korišćenja sistema. Sistem je zasnovan na modularnoj arhitekturi i pruža mogućnost integracije samo onih modula koji su neophodni za svaki uređaj kako bi se optimizovali troškovi. Kao rezultat toga, svi moduli, od radia do senzorskih ploča, uključuju se u sistem preko portova. Velika prednost platforme je mala potrošnja električne energije uz dobre performanse. Namenjena je za bežične senzorske mreže veće teritorije; međutim, velika prodajna cena ograničava primenu ove platforme u projektima gde je potreban veliki broj uređaja.

Arhitekture sistema zasnovane je na *Arduino* platformi imaju dobre hardverske performanse uz nisku cenu i malu energetska potrošnju. Stoga se ova platforma čini kao najpodesnija za kreiranje bežične senzorske mreže za merenje saobraćajne buke.

3.1. Hardverske komponente

Hardverske komponente i platforma senzorske mreže se sastoje od mikrokontrolera, ugrađenih senzora i ulazno-izlaznih portova za povezivanje sa sensorima i drugim uređajima. Ovakav sistem podrazumeva baznu stanicu i bežično rasprostranjene senzorske čvorove. Svaki čvor senzora predstavljen je kombinacijom mikrokontrolera (uC), *ZigBee* radio primopredajnika, tj. *XBee* modula i odgovarajućeg broja senzora. Bežična *ZigBee* tehnologija je pogodna za povremeni prenos podataka sa senzora ili drugih ulaznih uređaja. Pored veoma niske energetske potrošnje, protok podataka ove tehnologije dostiže 250 kb/s uz mogućnost prenosa do 1600 metara. Opcija da uređaji rade u okviru meš mreže obezbeđuje prenos podataka i na veće udaljenosti. U okviru *XBee* meš mreže, koordinatni čvor može da komunicira sa senzorskim čvorovima putem višestrukog ili jedinstvenog komunikacionog moda. *Arduino GSM Shield* omogućava povezivanje *Arduino* uređaja na Internet mrežu posredstvom GPRS/GSM bežične mreže. Na Slikama 3 a), 3 b) i 3 c) prikazani su: *Arduino DUE* ploča, *XBee* primopredajnik i senzor zvuka, respektivno.



Slika 3. a) *Arduino DUE* ploča; b) *XBee Pro S2B*; c) *senzor zvuka*

3.2. Softverske komponente

Platforma *Arduino* poseduje sopstveni korisnički program otvorenog koda ARDUINO IDE, koji će koristiti svaki senzorski čvor za prikupljanje podatka. U okviru ovog softvera, unapred će biti definisan način komunikacije sa baznom stanicom posredstvom *ZigBee* tehnologije. Isto tako, neophodno je definisati interval prikupljanja podataka, format i mesto skladištenja prikupljenih podataka. U tekstualnim i .csv datotekama vršice se čuvanje strukturiranih podatka uz mogućnost njihovog kasnijeg izvoza. *ArcGIS* softverski paket će biti korišćen za grafički prikaz, odnosno vizuelizaciju i mapiranje pokazatelja saobraćajne buke. Upotrebom alata dostupnih u okviru *ArcGIS*-a, biće omogućeno jednostavno i precizno klasifikovanje i markiranje zona prema stepenu emitovane buke i emisiji štetnih gasova. Pored korišćenja prethodno pomenutih aplikacija, predviđeno je kreiranje klijentske strane *web* interfejsa uz pomoć HTML, CSS, *JavaScript*, *Ajax* i *JQuery* tehnologija. *Web* interfejs omogućiće prikazivanje grafikona u realnom vremenu, pristup podacima i daljinsko podešavanje senzorskih uređaja. Senzorski čvor i bazna stanica će raditi nezavino od *web* aplikacije. Dakle, ažuriranje *web* aplikacije neće ometati rad senzorske mreže. Ulogovani korisnik će moći da podesi senzorske čvorove mreže, pristupi podacima i preuzime ih po potrebi, kao i da obavlja monitoring istih u realnom vremenu.

3.3. Skladištenje podataka

Važna odluka u projektovanju bežične senzorske mreže tiče se skladištenja prikupljenih podataka. Prilikom odabira i projektovanja modela podataka, uzima se u obzir struktura samih podataka. Podaci prikupljeni putem senzora su specifični, zahtevaju modele u kojima će priroda tih podataka biti predstavljena na najbolji mogući način, posebno u kontekstu njihove integracije sa ostalim podacima. Na Slici 2 može se videti koncept skladištenja prikupljenih podataka u nerelacionu *mongoDB* bazu podataka. S obzirom na velike troškove u određenim domenima implementacije relacionih baza podataka i brzine obrade podataka u realnom vremenu, NoSQL baze podataka nude smanjenje troškova održavanja, skalabilnost, bolje performanse i pružaju jednostavna rešenja za distribuciju podataka [28]. Pored toga, *Cloud Computing* tehnologija pruža virtualni, praktično neograničeni kapacitet skladišnog prostora.

4. Zaključak

U ovom radu predstavljena je arhitektura sistema bežične senzorske mreže za merenje saobraćajne buke projektovane uz pomoć *Arduino* platforme i *XBee* uređaja. Sistem pored velikog broja mogućih funkcija karakteriše skalabilnost, interoperabilnost,

jednostavnost korišćenja i održavanja uz nisku cenu implementacije. Prednost ovakve arhitekture ogleda se u odvojenosti *web* aplikacije i skladištenja podataka u nerelacionim *mongoDB* bazama od infrastrukture za prikupljanje podataka. Korišćenjem *ZigBee* tehnologije omogućava se kreiranje meš mreže, koja značajno smanjuje kompleksnost razvoja sistema bežične senzorske mreže. Pravci daljeg rada biće usmereni ka implementaciji ovakvog sistema u urbanoj sredini. Pilot projektom testiraće se performanse ovakve bežične senzorske mreže u poređenju sa tradicionalnim tehnologijama merenja soobraćajne buke. Za očekivati je da će konvergenencija i prožimanje računarskih paradigmi: *IoT*, *Big Data*, *Cloud computing* i *Mobile Computing*, ponuditi ogroman potencijal u domenu monitoringa i upravljanja saobraćajnom bukom.

Zahvalnost

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekata pod brojem TR-32025.

Literatura

- [1] Huang, B., Pan, Z., & Wang, G. (2015). A methodology to control urban traffic noise under the constraint of environmental capacity: A case study of a double-decision optimization model. *Transportation Research Part D*, 41, 257–270. doi:10.1016/j.trd.2015.09.026
- [2] Chen, S., Bekhor, S., Yuval, & Broday, M. D. (2016). Aggregated GPS tracking of vehicles and its use as a proxy of traffic-related air pollution emissions. *Atmospheric Environment*, 142, 351-359. doi:10.1016/j.atmosenv.2016.08.015
- [3] Chew, Y. R., & Wu, B. S. (2016). A soundscape approach to analyze traffic noise in the city of Taipei, Taiwan. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 78-85. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2016.05.002
- [4] Ruiz-Padillo, A., Torija, A.J., Ramos-Ridao, Á., & Ruiz, D.P. (2014). A methodology for classification by priority for action: selecting road stretches for network noise action plans. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 29, 66–78. doi:10.1016/j.trd.2014.04.002
- [5] Uredba o indikatorima buke, graničnim vrednostima, metodama za ocenjivanje indikatora buke, uznemiravanja i štetnih efekata buke u životnoj sredini, *Službeni glasnik Republike Srbije*, br. 75/2010.
- [6] Zannin, P.H.T., Engel, M.S., Fiedler, P.E.K., & Bunn, F. (2013). Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil. *Cities*, 31, 317-327. doi:10.1016/j.cities.2012.09.008
- [7] Bastián-Noraca, N. A., Suarez, E., & Arenas, J.P. (2016). Assessment of methods for simplified traffic noise mapping of small cities: Casework of the city of Valdivia, Chile. *Science of The Total Environment*, 550, 439-448. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.01.139
- [8] León-Coca, J. M., Reina, D. G., Toral, S. L., Barrero, F. and Bessis, N., "Intelligent Transportation Systems and Wireless Access in Vehicular Environment Technology for Developing Smart Cities", in *Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments*, series: *Studies in Computational Intelligence*, Springer, Vol. 546, 2014, pp. 285-313.

- [9] Dehury, C. K., & Sahoo, P. K. (2016). Design and implementation of a novel service management framework for IoT devices in cloud. *Journal of Systems and Software*, 119, 149-161. doi:10.1016/j.jss.2016.06.059
- [10] Jamil, M. S., Jamil, M. A., Mazhar, A., Ikram, A., Ahmed, A., & Munawar, U. (2015). Smart Environment Monitoring System by Employing Wireless Sensor Networks on Vehicles for Pollution Free Smart Cities. *Procedia Engineering*, 107, 480-484. doi:10.1016/j.proeng.2015.06.106
- [11] Barbon, G., Margolis, M., Palumbo, F., Raimondi, F., & Weldin, N. (2016). Taking Arduino to the Internet of Things: The ASIP programming model. *Computer Communications*, 89-90, 128-140. doi:10.1016/j.comcom.2016.03.016
- [12] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Planiswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645-1660. doi:10.1016/j.future.2013.01.010
- [13] Flammini, A., & Sisinni, E. (2014). Wireless Sensor Networking in the Internet of Things and Cloud Computing Era. *Procedia Engineering*, 87, 672-679. doi:10.1016/j.proeng.2014.11.577
- [14] Kumar, P., Nigam, S.P., & Kumar, N. (2014). Vehicular traffic noise modeling using artificial neural network approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 111-122. doi:10.1016/j.trc.2014.01.006
- [15] Cai, M., Zou, J., Xie, J., & Ma, X. (2015). Road traffic noise mapping in Guangzhou using GIS and GPS. *Applied Acoustics*, 87, 94-102. doi:10.1016/j.apacoust.2014.06.005
- [16] Zuo, F., Li, Y., Johnson, S., Johnson, J., Varughese, S., Copes, R., Liu, F., Wu, H.J., Hou, R., & Chen, H., (2014). Temporal and spatial variability of traffic-related noise in the City of Toronto, Canada. *Science of the Total Environment*, 472, 1100-1107. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.11.138
- [17] Buratti, C., Belloni, E., & Moretti, E. (2014). Façade noise abatement prediction: new spectrum adaptation terms measured in field in different road and railway traffic conditions. *Applied Acoustics*, 76, 238-248.
- [18] Lee, E.Y., Jerrett, M., Ross, Z., Coogan, P.F., & Seto, E.Y.W. (2014). Assessment of traffic-related noise in three cities in the United States. *Environmental Research*, 132, 182-189. doi:10.1016/j.envres.2014.03.005
- [19] Garg, N., & Maji, S. (2014). A critical review of principal traffic noise models: strategies and implications. *Environmental Impact Assessment Review*, 46, 68-81. doi:10.1016/j.eiar.2014.02.001
- [20] Houzu, H., Sakamoto, I., Tanaka, T., Murakami, T., Ishihama, M., & Sawatari, K. (2011) Development of sound source localization system to detect noisy vehicles from traffic flow. 40th *International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2011 Inter-Noise 2011*, Osaka, Japan, 2011. 1332-1339.
- [21] Houzu, H., Tanaka, T., Sakamoto, I., Murakami, T., Ishihama, M., & Sawatari, K. (2009). Hybrid source localization method to detect noisy vehicles traveling on the road. 38th *International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2009 Inter-Noise 2009*, Ottawa, Canada. 2224-2230.
- [22] Apoorv, A., & Woon-Seng, G. (2014). Noisy Vehicle Surveillance Camera (NoivelCam) System: An innovative solution to urban traffic noise problem. Dostupno na: ftp://ftp.ni.com/pub/branches/asean/2014_nieia_academic_winner_03.pdf (pristupljeno 28 avgusta 2019).

- [23] Bhatia, R. (2014). Noise Pollution: Managing the Challenge of Urban Sounds. Dostupno na: <http://earthjournalism.net/resources/noise-pollution-managing-the-challenge-of-urban-sounds> (pristupljeno 29 avgusta 2019).
- [24] Steven, H. (2005) Investigations on Noise Emission of Motor Vehicles in Road Traffic. Dostupno na: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3092.pdf> (pristupljeno 30 avgusta 2019).
- [25] Ellebjer, L. (2008). Dostupno na: http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/SP_H/SILENCE_H.D2_20080816_DRI.pdf (pristupljeno 2 septembra 2019).
- [26] Ferdoush, S., & Li, X. (2014). Wireless Sensor Network System Design Using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications. *Procedia Computer Science*, 34, 103-110. doi:10.1016/j.procs.2014.07.059
- [27] Fernández-Lozano, J. J., Martín-Guzmán, M., Martín-Ávila, J., & García-Cerezo, A. (2015). A wireless sensor network for urban traffic characterization and trend monitoring. *Sensors*, 15(10), 26143–26169. doi:10.3390/s151026143
- [28] Janković, O. (2015). NoSQL dokument baza podataka: prikaz skladištenja podataka sa osvrtom na podatke sa senzora. *XV međunarodni naučno-stručni Simpozijum Infoteh-Jahorina 2015*, Jahorina, 561-566.

Abstract: *Previous research indicates that road traffic noise has been steadily increasing in urban areas in recent years. It becomes an important environmental problem that has a negative impact on human health and the environment. Improvements to existing road noise measurement systems are reflected in the continuous and accurate real-time measurement of noise emission parameters in order to take timely appropriate measures. This paper is an exploration of the possibilities of application of sensor networks in the development of road noise measurement systems. The basic idea is that all the data collected by the sensors is processed, stored and analyzed centrally. Such a system, which should allow not only monitoring but also real-time noise management in urban areas, is an integral part of the smart city concept. The paper deals with complex and widely available noise pollution measurement problems that do not have a unique solution.*

Keywords: *traffic noise, sensor networks, IoT*

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF SENSOR NETWORKS IN THE MEASUREMENT OF TRAFFIC NOISE

Stefan Zdravković, Snežana Mladenović, Dušan Mladenović