

POTROŠNJA ENERGIJE U BEŽIČNIM SENZORSKIM MREŽAMA U SISTEMU PAMETNIH ULIČNIH PARKINGA / ENERGY CONSUMPTION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR SMART STREET PARKING SYSTEMS

Almir Ahmetpahić, BH Telecom d.d. Sarajevo, Franca Lehara 7, 71000 Sarajevo,
+38761203953, utra@bih.net.ba

Dr Goran Popović, Internacionalni univerzitet Travnik IUT, Aleja Konzula-Meljanac bb,
72270 Travnik, +38765908065, popovic.goran@yandex.com

Izvorni naučni rad

Sažetak: Autori će u ovom radu predstaviti dio svojih istraživanja na mogućnostima optimizacije primjene linearnih bežičnih senzorskih mreža u sistemu pametnih uličnih parkinga. Problem parkiranja u centrima većih gradova je jedan od gorućih problema koji treba da se riješe kroz implementaciju sistema pametnih gradova. Zbog ograničenog prostora, ulični parkinzi se nameću kao neizostavno rješenje. Autori će izvršiti analizu problema i predstaviti aktuelne mogućnosti za njihovo prevazilaženje. Predlažu se linearne bežične senzorske mreže kao fizički sloj infrastrukture a posebna pažnja se posvećuje potrošnji energije u mreži kao kritičnom resursu.

Ključne riječi: IoT, LWSN, Pametni parkinzi, Ulični parkinzi, WSN

Summary: In this paper, the authors will present part of their research on the possibilities of optimizing the application of linear wireless sensor networks in the system of smart street parking. The problem of parking in the centers of larger cities is one of the pressing problems that should be solved through the implementation of the smart city system. Due to the limited space, street parking is imposed as an indispensable solution. The authors will analyze the problems and present the current possibilities for overcoming them. Linear wireless sensor networks are proposed as a physical layer of the infrastructure, and special attention is paid to energy consumption in the network as a critical resource.

Key words: IoT, LWSN, Smart parking lots, Street parking, WSN

1. Uvod

Savremeni tehnološki razvoj je dobrim dijelom usmjeren ka potrebama za unapređenjem kvaliteta svakodnevnog života ljudi u mnogim sferama. U tom smislu ideja IoT je okvir koji pruža neograničene mogućnosti za mapiranje paralelne egzistencije fizičkog i digitalnog svijeta te uvođenje novih tehnologija u čitav niz segmenata modernog življenja. IoT je našao svoju primjenu u velikom broju oblasti: industrije, komunikacija, rudarenja podataka, poljoprivrede, zdravlja itd. ali koncept pametnih gradova je otvorio prostor za mnoge nove ideje gdje se ne može ni naslutiti konačan domet. Pametni parking je jedan od najvažnijih segmenata sistema pametnog grada koji u najvećoj mjeri može uticati na povećanje kvaliteta života njegovih korisnika.

Zbog stalnog rasta broja automobila, pronalaženje parking mjesta u centrima većih gradova je postao izuzetno veliki problem koji ostavlja posljedice kako na vlasnike automobile tako i na društvo u cjelini kako navode *Sing A. et al. (2016)*. Smatra se da je pronalaženje mjesta za parkiranje u centrima velikih metropola jedan od najvećih uzročnika stresa korisnika automobila koji 30% vremena provedenog u automobilima utroše na tu frustrirajuću aktivnost ("*Smart Parking Solutions*" 2021). Istraživanje provedeno u 30 gradova u UK, USA i Njemačkoj pokazalo je da cijena koja se plaća za izgubljeno vrijeme, utrošeno gorivo i emisiju štetnih gasova prilikom traganja za parkingom iznosi oko 200 milijardi \$ na godišnjem nivou. Istraživanje koje je izvršio IBM je ukazalo na činjenicu da u Madridu i Pekingu u velikim urbanim sredinama vozači provedu svakodnevno oko 40 minuta tražeći mjesto za parkiranje ("*Smart Parking – A Silver*" 2017). Sve navedeno utiče na povećanje saobraćajnog zagušenja u centrima gradova i veću vjerovatnoću saobraćajnih nesreća. Zbog toga je neophodno preduzeti sve mjere kako bi se upravljanje raspoloživim parking prostorom učinilo što efikasnijim a njegovo iskorištenje optimizovalo. Stoga su pametni parkinzi jedan od najvažnijih segmenata koncepta pametnih gradova.

Broj zatvorenih parking u gradovima je ograničen a u centrima nikad nije dovoljan da zadovolji potrebe vozača. Iz tog razloga, ulični parkinzi su veoma dobro rješenje za ublažavanje problema. Ukoliko pri tome vozači u realnom vremenu raspolažu informacijama o raspoloživosti parking mjesta i njihovoj tačnoj lokaciji efikasnost parkiranja u centralnim gradskim zonama se značajno povećava. Bežične senzorske mreže su idealno rješenje za upravljanje uličnim parkinzima zbog male potrošnje i fizičkih dimenzija, te niske cijene kako navode *Zhang Z. et al. (2013)*.

Veliki broj gradova u svijetu već posjeduje neke vidove pametnih parkinga ali mali broj vozača od toga ima očekivane koristi. Glavni razlog za to je još uvijek nedovoljno razvijene tehnologije na kojoj su sistemi zasnovani u nekoliko različitih aspekata: robustnost senzorskih uređaja, stabilnost i životni vijek senzorskih mreža, kvalitet urbanih servisa, prilagođenost aplikacija korisničkim potrebama itd.

Bežične senzorske mreže se sastoje od umreženih senzora različitog tipa, montiranih na pojedinačna parking mjesta. Umrežavanje se vrši bežično a čitava mreža se povezuje sa višim nivoima arhitekture gdje se vrši nadzor i upravljanje mrežom. S obzirom da se senzorski čvorovi napajaju autonomno, ušteda energije je glavni problem koji je potrebno riješiti prilikom projektovanja. Problem se dodatno usložnjava u slučaju uličnih parking gdje su parking mjesta raspoređena duž ulica, nisu odvojena rampom niti nadzorom ulazaka i izlazaka sa jednog mjesta. U ovoj situaciji kao optimalno rješenje prateće arhitekture nameću se linearne bežične senzorske mreže. U ovom radu navešćemo neke od aspekata problema o kojima je prilikom projektovanja potrebno voditi računa.

2. Problem parkiranja u velikim gradovima

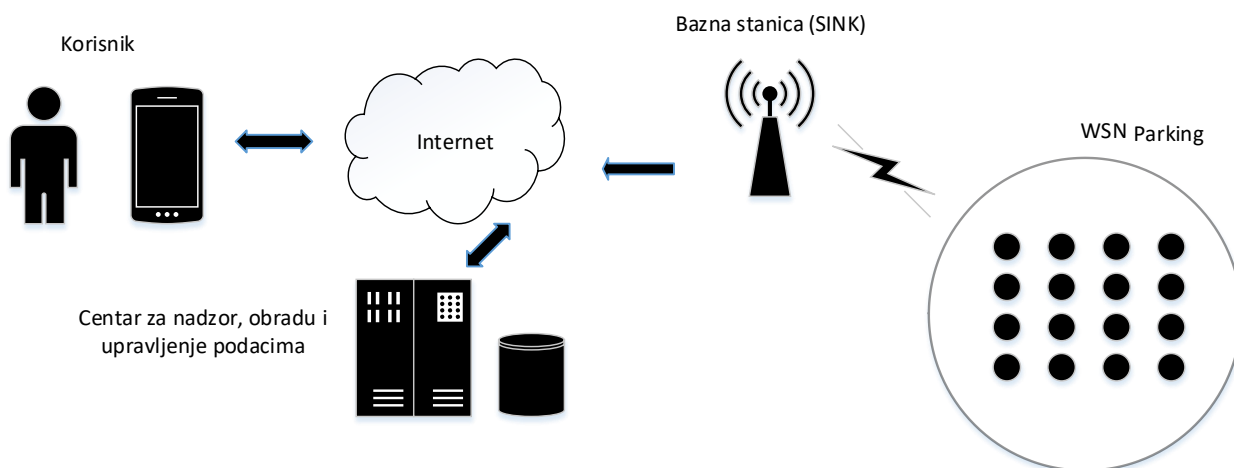
Parking se može definisati kao posebno izgrađen ili određen prostor koji je saobraćajnim znakom i oznakama na kolovozu označen i namijenjen zaustavljanju i/ili mirovanju vozila. Površine namijenjene parkiranju vozila opremljene informacionim tehnologijama koje su integrisane u gradski informacioni sistem nazivamo pametnim parkingom (Smart parking). Upotrebom informacionih tehnologija u funkciji parkiranja vozila, putem aplikacije na smart telefonu vozačima se omogućava da vide koji parkinzi trenutno imaju slobodnih mjesta, da slobodno mjesto rezervišu i plate, također na smart telefonu može se prikazati najkraća ruta od trenutne lokacije vozila do rezervisanog parking mjesta.

Tradicionalni informacioni sistemi koji se koriste u nadzoru i upravljanju saobraćajem u gradovima prikupljaju podatke i iste šalju u centre za upravljanje i nadzor nad sistemom. Nedostaci ovih sistema su veliki troškovi implementacije i kasnije veliki troškovi održavanja. Da bi se dobili precizni podaci o svim djelovima puta neophodno je da uređaji budu gusto postavljeni, a to iziskuje velike materijalne troškove.

Arhitektura pametnog parkinga je zasnovana na primjeni senzora koji vrše očitavanja određenih fizičkih veličina te vrše akviziciju podataka u željenoj formi. Čitav sistem mora biti automatizovan, bez učešća čovjeka, te zadovoljiti zahtjev minimalne potrošnje energije kako to navode *Barriga J. et al, (2019)*. Senzori se uvezuju u mrežu bežično pošto je kabliranje veoma skupo i neefikasno. Bežične senzorske mreže dobijene na ovaj način ponekad se u literaturi nazivaju PSN (Parking Sensor Networks) i prema *Lin T.S., (2015)* imaju slijedeće osobine:

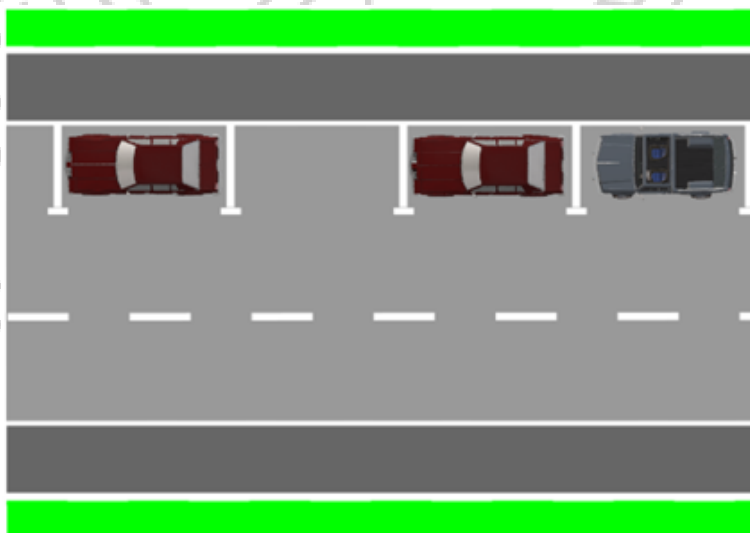
- Senzorski čvorovi su stacionarni, ugrađeni obično na površinu asfaltne površine, postavljeni na relativno male međusobne udaljenosti
- Topologija mreže je linearna i određena je topologijom saobraćajnica
- Oblast koju senzor pokriva ne smije da se preklapa sa oblastima koje pokrivaju susjedni senzori kako ne bi došlo do paralelne višestruke detekcije
- Brzina formiranja paketa zavisi od brzine pristizanja vozila na parking mjesto kao i udaljavanja sa njega.
- Informacije o raspoloživosti parking mjesta se isporučuju u realnom vremenu

WSN prikupljaju podatke od interesa sa željene lokacije u realnom vremenu. Ovi podaci se prenose do mjesta na kom se obrađuju i gdje je moguće implementirati veliki broj različitih korisničkih aplikacija vezanih za pametni parking. Primjer aplikacije je automatska rezervacija i plaćanje parkinga preko pametnog telefona. Na Slici 1. je prikazana opšta arhitektura sistema pametnog parkinga.



Slika 1. Opšta arhitektura sistema pametnog parkinga

Ulična mjesta za parkiranje su površine na gradskim ulicama, i to na prostoru kolovoza, trotuara ili djelimično na kolovozu djelimično na trotuaru. Vozačima je ovaj način parkiranja znatno atraktivniji u odnosu na izvanulična parkirališta ili garaže za parkiranje. Parkiranje na ulici omogućuje najbliži kontakt sa objektima koji su cilj putovanja, na ovaj način troši se najmanje vremena za radnju parkiranja i odlazak pješacenjm do cilja putovanja. Ulična parkirališta su interesantna vozačima koji se kratko zadržavaju na cilju putovanja. Međimtim ova parkirališta mogu imati i negativan uticaj koji se ogleda: u smanjenju propusne moći saobraćajnice samim tim se smanjuje i brzine kretanja vozila u ulicama gdje se nalaze ova parkirališta, često dolazi i do kratkih prekida odnosno zastoja u odvijanju saobraćaja a kao posljedicu imamo povećanje vremena putovanja i emisije štetnih gasova, povećan je rizik od saobraćajnih nezgoda svih učesnika u saobraćaju (vozač - vozilo, motociklista, biciklista, pješak, itd.). Ulična parkirališta možemo izvesti zavisno od ugla parkiranja (uzdužno parkiranje (Slika 2), koso parkiranje i okomito parkiranje).



Slika 2. Uzdužno ulično parkiranje

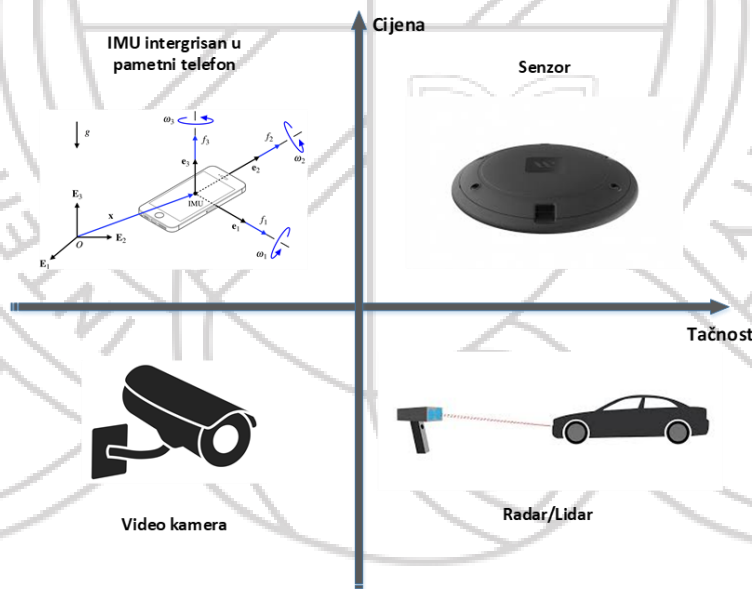
3. Tipovi uređaja za detekciju u sistemima pametnim parkinga

Postoje tri moguća sistema za detekciju zauzetosti parking mjesta u savremenom IoT konceptu: kamere, radari/lidari i senzori.

Upotreba kamera podrazumijeva primjenu tehnika za digitalnu obradu slike pa stoga i eksternu opremu koja ove obrade može izvršiti. Kamera se montira na plafon iznad zatvorenih parking mjesta ili na određenu lokaciju iznad otvorenih parking mjesta, pri čemu jedna kamera može pokriti više parking mjesta. Sistem koji bi se gradio uz pomoć kamera je veoma skup za instalaciju i održavanje pogotovo za slučaj uličnih parkinga.

Mikrotalasni radari su pasivni senzori koji šalju signal iz opsega (1-50) GHz i na osnovu reflektovanog signala mjere udaljenost do pokretnog objekta, njegovu brzinu i ugao. Nedostatak klasičnih radara je da ne mogu detektovati objekat u mirovanju. Implementacija dualnih mikrotalasnih Doppler radara međutim prevazilazi ovaj problem te omogućava detekciju stacionarnih objekata. Ovi radari su izuzetno otporni na loše vremenske uslove i pogodni za korišćenje kako u zatvorenim tako i na otvorenim parkinzima kako navode *Al-Turjman F. and Malekloo A, (2019)*. Nedostatak je visoka cijena implementacije i održavanja.

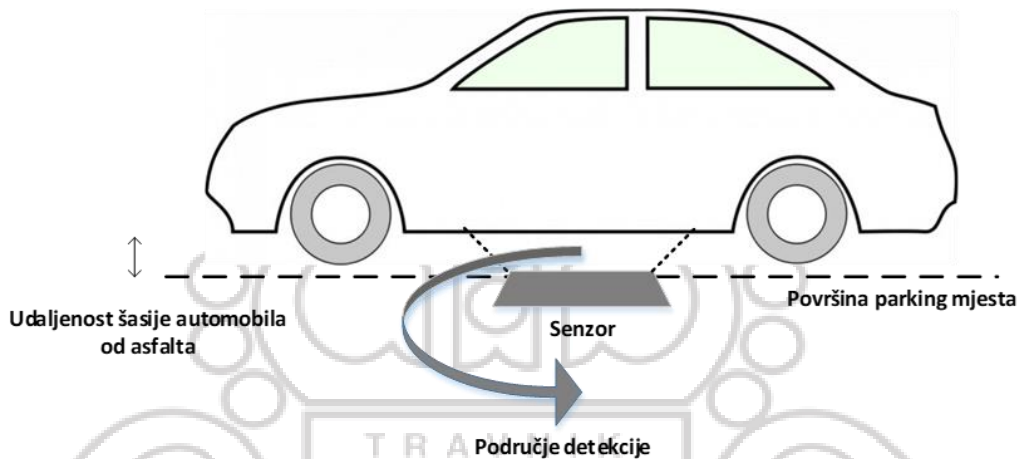
LIDAR (Light Detection and Ranging) tehnologija je relativno nova mogućnost za detektovanje prisustva vozila na parking mjestu koja pruža niz prednosti u odnosu na tradicionalne radare kao što je prikazano u *Fowler R. A. et al. (2007)*. Emituje se skup laserskih impulsa te detektuje refleksija od susjednog objekta. LIDAR vrši proračun udaljenosti i prisustva vozila u ciljanom prostoru.



Slika 3. Poređenje sistema za detekciju zauzetosti po cijeni i tačnosti

Međutim, baterijski napajani bežični senzori postavljeni na svakom parking mjestu su najefikasniji i široko rasprostranjeni način detekcije automobila na parking mjestu. Na detekciju ne utiču ometanja na liniji vidljivosti. Na Slici 3 je prikazan dijagram sa poređenjem navedenih sistema u pogledu tačnosti i cijene pojedinih rješenja. Pored navedenih sistema na dijagramu je predstavljena i mogućnost upotrebe IMU (Inertial Measurement Unit) tehnologije integrisane u pametni telefon, za estimaciju zauzetosti koja se za sada pokazala veoma loša, naročito u

"EUROPE'S ENERGY TRANSITION AND SUSTAINABLE MOBILITY WITH CHALLENGES TO THE SITUATION IN BOSNIA AND HERZEGOVINA"
pogledu tačnosti pa je nismo naveli među standardne sisteme. I sa slike je vidljivo da sistemi koji koriste senzore imaju najnižu cijenu i najveću tačnost. U ovom radu ćemo se dalje baviti samo takvim sistemima. Na Slici 4 je prikazan koncept instalacije senzora na parking mjesto. Senzor detektuje dolazak vozila na parking mjesto ili njegovo napuštanje i svaku promjenu stanja proslijeđuje višim nivoima sistema.

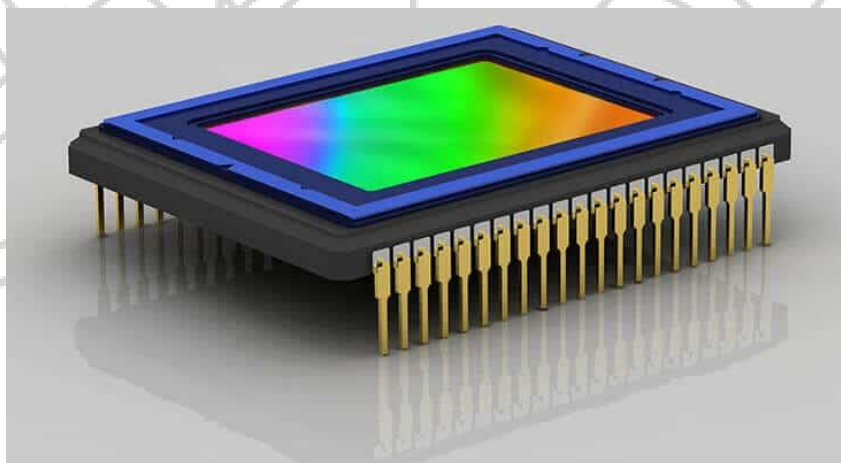


Slika 4. Senzor instalisan na parking mjestu

Navešćemo u nastavku nekoliko različitih vrsta senzora koji se najčešće koriste a veoma se razlikuju u pogledu primjenjene tehnologije, načina rada i čitavog niza karakteristika.

Foto senzor

Foto senzor detektuje i prosleđuje na više nivoie informacije potrebne za formiranje fotografije. Vrš se konverzija promjenljivog slabljenja elektromagnetnih talasa u odgovarajuće električne signale koji u sebi sadrže sve potrebne informacije. EM talasi su uglavnom talasi iz opsega vidljive svjetlosti ali mogu bit i iz drugih dijelova spectra. Dvije osnovne vrste foto senzora su; CCD (Charge-Coupled Device) na Slici 5 i CMOS (active-pixel sensor) i oba su zasnovana na MOS tehnologiji.



Slika 5. CCD foto senzor

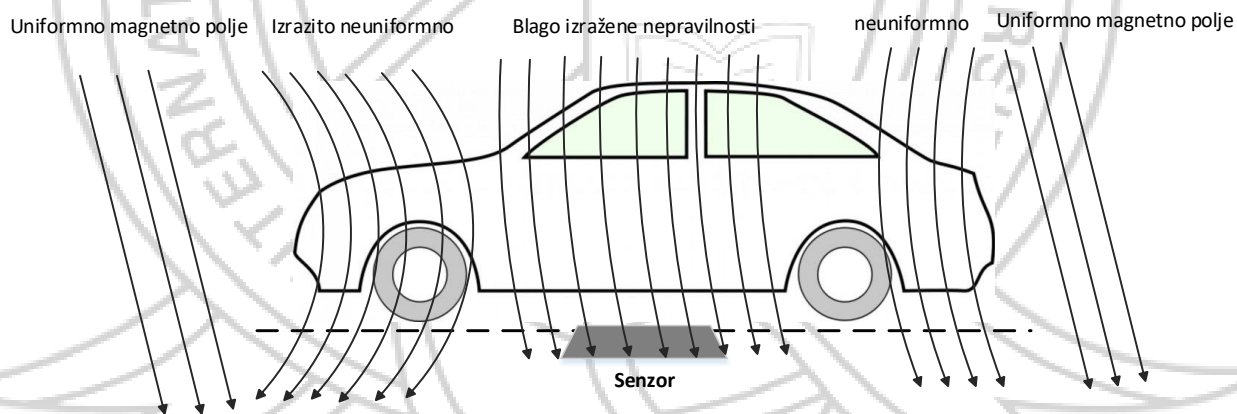
Magnetometri

Automobili se dobrim dijelom sastoje od raznih vrsta metala (aluminijuma, željeza, čelika, nikla, kobalta itd.). Zbog toga su AMR (Anisotropic Magneto-Resistive) senzori izuzetno pogodni za detekciju automobila. On utvrđuje zauzetost parking mjesta kroz promjenu zemljinog magnetskog polja u neposrednoj okolini.

Planeta Zemlja posjeduje sopstveno magnetno polje koje je gotovo uniformno duž čitave njene površine pa prisustvo veće količine metala izaziva nepravilnosti u polju koje se AMR senzorom mogu jednostavno detektovati. Amplituda nepravilnosti magnetnog polja zavisi od količine i vrste metala, veličine objekta i udaljenosti od senzora. Na Slici 6 se može uočiti da distorzije variraju po amplitudi duž površine koju zauzima jedan automobile. Najveće nepravilnosti su tamo gdje se nalazi motor, pošto je tu i najviše metalnih dijelova pa je poželjno sensor postaviti baš iznad očekivane lokacije motora prilikom parkiranja, što je u slučaju uličnog parkinga uglavnom moguće unaprijed znati s obzirom na pretežno jednosmjerni karakter saobraćaja u ulicama sa pratećim parkingom. Proces parkiranja se sastoji iz tri faze po *Gongjun, Y. et al (2011)*:

1. Ulazak vozila na parking mjesto
2. Zadržavanje vozila na parking mjestu
3. Napuštanje parking mjesta

Kada vozilo ulazi na parking mjesto dolazi do oscilacija magnetnog polja od uniformnog stanja. Nakon zaustavljanja, vozilo se zadržava na parking mjestu neodređeno vrijeme i u toj fazi poremećaj magnetnog polja je stabilan. Oscilacije od stabilnog stanja se ponovo dešavaju kada vozilo napušta parking mjesto, da bi se ponovo magnetno polje vratilo u uniformno stanje okoline kada se vozilo dovoljno udalji od senzora.



Slika 6. Varijacija distorzija magnetnog polja duž automobila

Magnetni senzori su malih dimenzija, izuzetno osjetljivi a daleko otporniji na nepovoljne uslove koji vladaju u okolini kao što su kiša, snijeg, vjetar, magla i mraz od drugih načina detekcije kako navode *Zhang L., Wang R., and Cui L (2011)*. Moguće ih je montirati ispod površine kao i na površinu asfalta. Zbog svih navedenih prednosti ovo je tip senzora koji se najčešće koristi za detekciju prisustva vozila na parking mjestu.

Infracrveni IC senzori

IC senzori emituju i/ili detektuju te vrše mjerenje radijacije iz opsega infracrvenog zračenja i na taj način očitavaju neke od bitnih aspekata okruženja u dometu. Dije se na pasivne i aktivne

IC senzore. Aktivni senzori se obično mogu ugraditi u površinu asfalta (intruzivni senzori) i sastoje se iz LED diode koja emituje IC radijaciju i prijemnika koji mjeri intenzitet reflektovane radijacije. Nedostatak ove vrste senzora je njihova visoka cijena i velika osjetljivost na vremenske uslove (kiša, snijeg, magla) te na objekte u okruženju. Pasivni IC senzori ne emituju IC radijaciju već detektuju razliku u temperature između objekta i njegove okoline in a taj način zauzetost parking mjesta. Obično se detektuje zračenje tijela vozača. Ukoliko se i koriste, ova vrsta senzora se obično kombinuje sa sensorima drugog tipa. Zbog visoke cijene i osjetljivosti na vremenske prilike ni jedan tip IC senzora nije pogodan za korišćenje na otvorenim parkinzima kako navode *Paidi V. et al, (2018)*.

Ultrazvučni senzori

Ultrazvučni senzori su aktivni senzori i nisu namijenjeni za ugradnju u površinu asfalta. Princip rada se zasniva na emitovanju akustičnih talasa iz frekvencijskog opsega (25-50) kHz, koji se reflektuju nazad do senzora ukoliko je objekat na putanji zvučnog talasa. Kao i IC senzori, nisu pogodni za montažu na otvorenim parking mjestima zbog osjetljivosti na vremenske uslove. Sa druge strane, njihovom primjenom se izbjegavaju greške prilikom detekcije do kojih može doći prilikom upotrebe IC senzora. IC senzori često pogrešno detektuje prolazak osobe kao prolazak vozila što se kod ultrazvučnih senzora ne može desiti zbog većeg radijusa prostiranja talasa. Pored toga, ovi senzori su jeftini i jednostavni za ugradnju i održavanje. Uglavnom se montiraju u zatvorenim parking prostorima na plafonu iznad svakog parking mjesta.

RFID senzori (*Radio-Frequency Identification*)

RFID spadaju u grupu pasivnih senzora i sastoje se od predajnika, transpondera i antene. RFID čitač koristi radio transmisiju za slanje energije transponderu (RFID Tag) koji onda emituje povratnu informaciju koja može da sadrži različite podatke: jedinstveni identifikacioni kod i/ili niz podataka, ranije smešteni u samom transponderu. Tako prikupljene podatke, kao i u slučaju bar-koda, moguće je dalje obrađivati. Transponder ili RFID tag na transmisiju čitača odgovara traženim podacima. Osnovne komponente transpondera su mikročip i antena koji su zaliveni u kućište i otporni su na uticaj okoline. RFID tag se postavlja u vozilo na poziciju koja će omogućiti očitavanje od strane čitača. Izuzetno su pogodni za primjenu na zatvorenim parkinzima ali ne in a otvorenim gdje je potrebno pokrивati veće površine pa do met uređaja nije dovoljan. Najveća prednost RFID senzora je njihova povoljna cijena i jednostavna implementacija ali i mogućnost automatske naplate parking što drugi senzori ne omogućavaju.

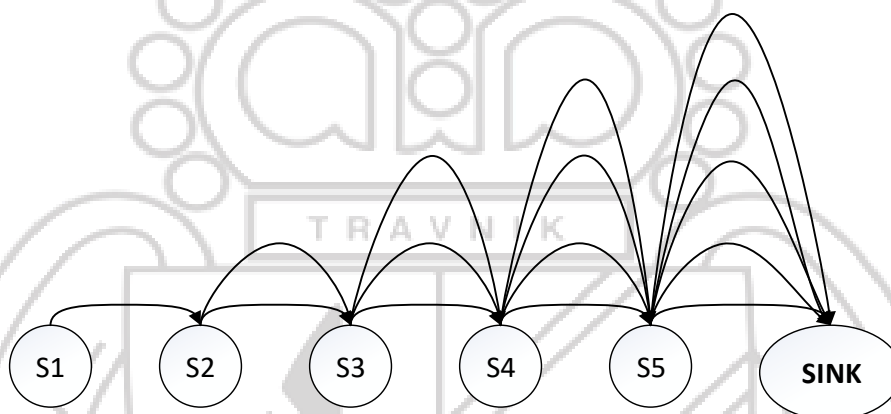
Detektor induktivne petlje

Spada u grupu pasivnih senzora koji se ugrađuju ispod površine asfalta. Električna struja koja se prenosi kroz kolo unutar senzora stvara elektromagnetno polje čija se indukcija mjeri senzorom. Prolazak vozila iznad senzora prekida polje čime se smanjuje indukcija, što sensor odmah detektuje. Ovi senzori su skupi za instalaciju i održavanje a koriste se uglavnom u zatvorenim parkinzima.

4. Problem potrošnje energije u linearnim bežičnim senzorskim mrežama

Prema klasičnom radio modelu prvog reda za prenos u slobodnom prostoru, energija koju predajnik troši prilikom slanja poruke raste sa kvadratom rastojanja do mjesta prijema kako navode *Popovic G., Djukanovic G. and Kanellopoulos D.,(2018)*. Zbog toga je potrebno na neki način optimizovati WSN prilikom projektovanja kako bi ukupna dužina bežične trase prilikom aktivnog stanja mreže bila što kraća. Opsežna istraživanja su stoga posvećena algoritmima za

uštedu energije senzorskih čvorova na terenu i zasnovana su na različitim principima koji su detaljno opisani u *Popovic G and Djukanovic G, (2016)*. Linearne bežične senzorske mreže su međutim potpuno specifične pošto su u njima senzorski čvorovi distribuirani u linearnoj konfiguraciji. Komunikacija u jednom hopu do sinka u ovakvim mrežama nije moguća a saobraćaj koji se generiše u čvoru udaljenom od sinka prenosiće se do destinacije korišćenjem većeg broja drugih senzora kao relejnih čvorova pa će podaci biti isporučeni sa kašnjenjem koje se ne može zanemariti. Senzori koji se nalaze bliže sinku predstavljaju usko grlo mreže za prenos podataka. Što su bliži sinku, brže crpe svoje energetske rezerve zato što se količina podataka koje senzor prosleđuje u LWSN značajno povećava sa smanjenjem udaljenosti senzora od sinka kao što se vidi na Slici 7. Zbog toga je neophodno na neki način uravnotežiti potrošnju energije u mreži što je veoma izazovan problem.



Slika 7. Povećanje gustine saobraćaja sa smanjenjem udaljenosti senzora od sinka u LWSN

Ovaj problem se može riješiti na dva načina. Prvi podrazumijeva nehomogenu distribuciju energije u mreži a drugi implementaciju odgovarajućih energetski efikasnih protokola za rutiranje podataka. Autori u svojim trenutnim istraživanjima pokušavaju kombinovati oba metoda kako bi došli do rješenja kojim se postiže zadovoljavajuća optimizacija.

5. Zaključak

Problem parkiranja u jezgrima velikih gradova je jedan od najvažnijih problema koje je potrebno riješiti kroz koncept pametnog grada. Bežična senzorska mreža će neminovno predstavljati fizički sloj IoT arhitekture koja će taj koncept pokrivati. U ovom radu se posebna pažnja poklanja arhitekturi mreže za pokrivanje uličnih parkinga. Opisali smo uređaje koji se mogu koristiti za detekciju zauzetosti parking mjesta. Osnovni problem kod umrežavanja ovih uređaja u sistem bežičnim putem je potrošnja energije, pošto se radi o autonomno napajanim uređajima. Objasnili smo specifičnost problema u linearnim bežičnim senzorskim mrežama kao podlozi za implementaciju pametnih uličnih parkinga. Autori će u svom daljem istraživanju raditi na iznalaženju optimalnog algoritma za rutiranje podataka u ovakvim mrežama.

LITERATURA

- [1] Al-Turjman F. and Malekloo A, (2019), “Smart parking in iot-enabled cities: A survey”
- [2] Ashlock, D. (2005). “Evolutionary Computation for Modeling and Optimization”, Springer Science, Business Media Inc., pp. 257
- [3] Barriga J. et al, (2019), “Smart parking: A literature review from the technological perspective”, Appl. Sci., 9, 21, 4569
- [4] Efrat, A. et al. (2005). “Approximation algorithms for two optimal location problems in sensor networks”, Broadband Networks, 1:714–723
- [5] Fowler R. A. et al. (2007). “Topographic and Terrestrial Lidar.” In Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual, 2nd Edition,
- [6] Gogu, N.D. et al. (2011). “Optimization Problems in Wireless Sensor Networks”, International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, Seoul, 302-309
- [7] Gongjun, Y. et al (2011). “SmartParking: A secure and intelligent parking system”, Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE, 3(1), 18–30.
- [8] Lin T.S., (2015), “Smart parking: Network, infrastructure and urban service. Networking and Internet Architecture” [cs.NI]. INSA de Lyon
- [9] Paidi V. et al, (2018), “Smart parking sensors, technologies and applications for open parking lots: a review”, IET Intelligent Transport Systems, 12, 735–741(6)
- [10] Popovic G., Djukanovic G. and Kanellopoulos D.,(2018), „Cluster Head Relocation Based on Selfish Herd Hypothesis for Prolonging the Life Span of Wireless Sensor Networks”, Electronics, Vol.7, Issue 12, 403
- [11] Popovic G, Djukanovic G, (2016) “Cluster formation techniques in hierarchial routing protocols for Wireless Sensor Networks”, Journal of Information Technology and Applications JITA, 1:35-41
- [12] Singh A. et al. (2016.) “Radio frequency global positioning system for real-time vehicle parking”, International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC), 479–483.
- [13] „Smart Parking Solutions - IoT sensors space race”, <https://be.farnell.com>, Pristup: 02.02.2023.
- [14] „Smart Parking – A Silver Bullet for Parking Pain“, <https://inrix.com/blog/parkingsurvey>, Pristup: 05.03.2023.
- [15] Zhang Z. et al, (2013), “A Street Parking System Using Wireless Sensor Networks”, International Journal of Distributed Sensor Networks Volume 2013, Article ID 107975.
- [16] Zhang L., Wang R., and Cui L.(2011) “Real-time traffic monitoring with magnetic sensor networks,” Journal of Information Science and Engineering, vol. 27, no. 4, pp. 1473–1486.