

POZICIONIRANJE U ZATVORENIM PROSTORIMA PRIMENOM SISTEMA ZA KOMUNIKACIJU U DOMENU VIDLJIVE SVETLOSTI

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Branka Mikavica
Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet,
a.kostic@sf.bg.ac.rs, b.mikavica@sf.bg.ac.rs

Sadržaj: *Sistemi za pozicioniranje u zatvorenim prostorima imaju širok spektar primena. Poznato je da Global Positioning System (GPS) ostvaruje zadovoljavajuće performanse na otvorenom. Međutim, GPS se suočava sa izazovima kao što su prostiranje višestrukim putanjama i interferencija. Ovi izazovi utiču na ostvarivanje lošijih performansi u zatvorenim prostorima ili u tunelima. Nedavno su predložene tehnike pozicioniranja u zatvorenim prostorima zasnovane na sistemima za komunikaciju u domenu vidljive svetlosti (Visible Light Communication - VLC). VLC sistemi za pozicioniranje smatraju se obećavajućim rešenjem za postojeće izazove i imaju mogućnost široke primene za pozicioniranje u industrijskim postrojenjima, poslovnim prostorima, tržnim centrima, itd. U zavisnosti od načina realizacije prijemnika, ove tehnike pozicioniranja se u najširem smislu mogu podeliti na sisteme sa prijemnicima zasnovanim na fotodiodama i sisteme sa prijemnicima zasnovanim na kamerama. Ovaj rad predstavlja uporednu analizu predloženih tehnika za pozicioniranje i daje osvrt na prednosti i izazove u njihovoj implementaciji.*

Ključne reči: *VLC, LED, pozicioniranje u zatvorenim prostorima*

1. Uvod

Sistemi za pozicioniranje se u opštem slučaju koriste za procenu lokacije korisnika primenom navigacionih servisa. Najčešću primenu još uvek ima *Global Positioning System* (GPS), koji se može koristiti u vazduhoplovima, vozilima, kao i korisničkim uređajima u cilju obezbeđivanja navigacije i pozicioniranja u realnom vremenu [1]. Međutim, u zatvorenim prostorima i gradskim zonama GPS ne daje precizna rešenja. Uz to, dolazi do degradacije u prenosu satelitskih signala usled propagacije kroz oblake, zidove ili neke druge prepreke [2-3]. Nasuprot otvorenim, zatvoreni prostori zahtevaju veću preciznost. Iz tog razloga, za pozicioniranje u zatvorenim prostorima najveću primenu do sada su imale bežične tehnologije, *Radio Frequency Identification* (RFID), *Bluetooth* i *ZigBee* [4-7]. Nedavno su predloženi sistemi za pozicioniranje zasnovani na komunikaciji u domenu vidljive svetlosti. Razvojem *Light Emitting Diodes* (LED), sistemi za komunikaciju u domenu vidljive svetlosti, *Visible Light*

Communication (VLC), imaju sve veću primenu u raznim sferama. Osnovna prednost VLC sistema je da omogućavaju prenos podataka velikim brzinama uz poštovanje zahteva u pogledu bezbednosti podataka, bez neželjenih efekata po zdravlje ljudi. VLC sistemi u različitim zatvorenim prostorima međusobno su nezavisni i nema interferencije, s obzirom da svetlost ne može propagirati kroz neprozirne prepreke, čime se omogućava bezbedna komunikacija. Zbog primene LED koje zahtevaju malu potrošnju energije, VLC sistemi su energetski efikasni sistemi koji su neosetljivi na elektromagnetne smetnje. Takođe, LED se karakterišu dugim vekom trajanja, čak do 10 godina bez smanjenog osvetljaja [8]. Sve ovo utiče na značajno niže troškove za izgradnju i održavanje VLC sistema u poređenju sa drugim tehnologijama koje se mogu koristiti za pozicioniranje. Tokom proteklih nekoliko godina predloženo je više algoritama za pozicioniranje primenom VLC sistema. Pokazalo se da su VLC sistemi za pozicioniranje precizniji (greška u pozicioniranju je od 0.1 m do 0.35 m) u poređenju sa WiFi (greška u pozicioniranju je od 1 m do 7 m), *Bluetooth* (greška u pozicioniranju je od 2 m do 5 m) [9]. Štaviše, neki predloženi sistemi postižu preciznost reda veličine nekoliko milimetara [10-12].

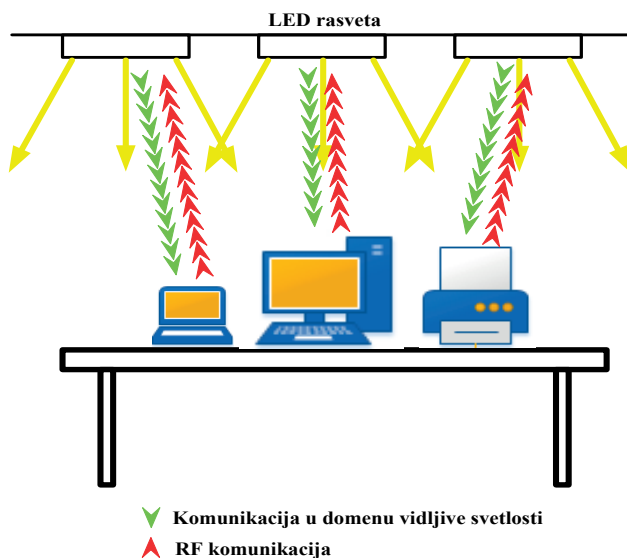
Zbog svojih brojnih prednosti, VLC sistemi za pozicioniranje mogu naći primenu u različitim scenarijima, kao što su zatvoreni javni prostori, industrijska postrojenja i skladišta, tržni centri, aerodromi i železničke stanice, bolnice i druga mesta od značaja. U zatvorenim javnim prostorima, kao što su stadioni, pozorišta, opere, muzeji i galerije, lokacijski servisi mogu biti višestruko korisni u cilju pronalaženja rezervisanih mesta, toaleta ili liftova. Pored toga, ovi servisi mogu obavestavati korisnike o izložbama u njihovoj blizini ili ih usmeravati ka željenim lokacijama. Imajući u vidu da zatvoreni javni prostori već imaju ugrađene sisteme za osvetljavanje, VLC sistemi za pozicioniranje mogu se jednostavno implementirati uz ugradnju dodatne opreme. Ovi sistemi se mogu implementirati i u industrijskim postrojenjima i skladištima za efikasno lociranje objekata i radnika u cilju unapređenja upravljanja datim postrojenjem. VLC sistemi za pozicioniranje služe i za navigaciju robota i upravljanje zalihama u skladištima. Primenom ovih sistema postiže se efikasnost u operativnom delu uz značajne uštede energije i redukciju troškova održavanja. VLC sistemi za pozicioniranje su vrlo pogodni za primenu u objektima kao što su tržni centri, gde su radnje i poslovnice razmeštene po celoj zgradi. U tom slučaju, lokacijski servisi mogu se obezbeđivati kako korisnicima, tako i trgovcima. Njihovom primenom moguće je usmeravati potencijalne korisnike ka određenim proizvodima, ali i pratiti njihovo ponašanje u cilju optimizacije alokacije proizvoda. VLC sistemi za pozicioniranje mogu locirati i usmeravati putnike i prtljag na aerodromima i autobuskim/železničkim stanicama. VLC sistemi za pozicioniranje u bolnicama mogu naći primenu u lociranju medicinske opreme i pacijenata. Na taj način je moguće usmeravati pacijenta u invalidskim kolicima, recimo, ka najbližem liftu. U tom slučaju, VLC prijelnik ugrađen u invalidska kolica prima signale od LED predajnika na plafonu, procenjuje koordinate pacijenta, daje smernice ka određitu i upozorava pacijenta o mogućim preprekama.

Rad je koncipiran na sledeći način. Nakon uvoda, u drugom delu rada prikazani su mogući scenariji komunikacije primenom VLC sistema u zatvorenim prostorima. Treći deo rada predstavlja analizu algoritama za pozicioniranje u zatvorenim prostorima primenom VLC sistema. Četvrti deo rada prikazuje osnovnu podelu ovih sistema i njihovu arhitekturu. Poređenje ovih tehnika u pogledu preciznosti, složenosti, robustnosti

i ukupnih troškova dato je u petom delu rada. Prednosti i mogući izazovi u komercijalizaciji i široj primeni ovih sistema prikazani su u šestom delu rada. Zaključna razmatranja data su na kraju rada.

2. Mogući scenariji komunikacije u zatvorenim prostorima primenom VLC sistema

Postoje dva moguća načina komunikacije u domenu vidljive svetlosti: između infrastrukture i uređaja i između samih uređaja. Komunikacija između infrastrukture i uređaja predstavlja scenario komunikacije u zatvorenom prostoru kada LED predajnik šalje signale različitim uređajima unutar datog zatvorenog prostora. Komunikacija između LED predajnika je omogućena u cilju redukcije interferencije, kao i za koordinaciju prenosa do prijemnika. Prenos u *uplink*-u primenom VLC sistema je teško ostvariti s obzirom da primena LED uređaja na strani krajnjeg korisnika može uzrokovati vizuelne smetnje. Iz tog razloga su radio komunikacioni sistemi pogodniji za primenu u *uplink*-u, kao što je prikazano na Slici 1.



Slika 1. Komunikacija između infrastrukture i uređaja

Komunikacija između infrastrukture i uređaja može se takođe ostvariti putem ulične rasvete, kao i putem semafora. Na taj način omogućena je komunikacija između infrastrukture i vozila ili pešaka. Imajući u vidu da su kamere integrisane u većini mobilnih uređaja, komunikacija između uređaja u domenu vidljive svetlosti je jednostavna za realizaciju. U tom slučaju, LED ugrađene u uređaj (na primer, pametni telefon) mogu imati ulogu predajnika, a kamere drugog mobilnog uređaja (na primer, drugog pametnog telefona) mogu imati ulogu prijemnika. Komunikacija između uređaja može se koristiti i za formiranje *vehicular* mreže, čime vozila na putu razmenjuju podatke primenom komunikacije u domenu vidljive svetlosti.

3. Algoritmi za pozicioniranje u zatvorenim prostorima primenom VLC sistema

Pozicioniranje u zatvorenim prostorima pomoću VLC sistema može se vršiti primenom sledećih algoritama: *Received Signal Strength* (RSS), *Time Difference of Arrival* (TDOA) i *Angle of Arrival* (AOA) [9]. RSS tehnika pozicioniranja zasniva se na nekoherentnoj detekciji koja ukazuje na prisustvo ili odsustvo signala na prijemu bez utvrđivanja faze. Imajući u vidu da snaga signala zavisi od rastojanja između predajnika i prijemnika, lokacija prijemnika može se odrediti na osnovu izmerenih nivoa signala na prijemu. U slučaju primene TDOA tehnika pozicioniranja, detektori faze se koriste za određivanje faznog kašnjenja signala na prijemu. Struktura prijemnika u sistemima koji koriste ovu tehniku pozicioniranja je složenija u odnosu na strukturu prijemnika u sistemima koji koriste RSS tehniku pozicioniranja. Fazno kašnjenje određuje se u odnosu na fazu nekog drugog referentnog signala. AOA tehnike pozicioniranja su pogodne u situacijama kada je moguće uspostaviti direktnu liniju optičke vidljivosti između predajnika i prijemnika. Preciznost u određivanju lokacije u velikoj meri zavisi od arhitekture predajnika i prijemnika. Matematička formulacija te zavisnosti za dvodimenzionalno pozicioniranje predložena je u [13].

Nakon dobijanja rezultata primenom RSS, TDOA ili AOA tehnika, mogu se primeniti različiti algoritmi za pozicioniranje, kao što su: sistemi jednačina, *fingerprinting* algoritmi, trilateracija, triangulacija, multilateracija itd. Sistemi jednačina mogu se primeniti na bilo koje izmerene karakteristike signala. Pod pretpostavkom da su poznate lokacije predajnika, nepoznate koordinate prijemnika mogu se odrediti rešavanjem najmanje tri nezavisne jednačine. Ukoliko se koriste podaci dobijeni primenom RSS tehnike, neophodno je najmanje četiri LED predajnika za određivanje lokacije prijemnika [11]. U slučaju korišćenja podataka dobijenih TDOA tehnikom, potrebno je pet LED predajnika. Taj dodatni predajnik služi za određivanje faznih razlika i TDOA podataka [10].

Algoritmi pozicioniranja koji koriste *fingerprinting* tehnike imaju inicijalnu fazu pre same procene lokacije prijemnika. Tokom inicijalne faze, dati zatvoreni prostor se posmatra kao mreža lokacija. U svakoj tački te mreže mere se određeni parametri signala koji se zatim čuvaju u bazi podataka. Nakon toga, lokacija prijemnika se određuje poređenjem izmerenih vrednosti sa prethodno sačuvanim podacima. Za procenu lokacije prijemnika biraju se koordinate koje pokazuju najveće podudaranje sa nekim unapred definisanim kriterijumom. Razvoj odgovarajućih baza podataka za *fingerprinting* tehnike predstavlja veliki izazov. Takođe, proces poređenja izmerenih vrednosti sa onim prethodno sačuvanim od velikog je značaja i može uticati na preciznost procene lokacije.

Trilateracija predstavlja opšti metod za procenu nepoznate lokacije prijemnika na osnovu izvođenja istovremenih merenja sa najmanje tri predajnika čije su lokacije unapred poznate. Na osnovu poznavanja ovih rastojanja, moguće je nacrtati odgovarajuće kružnice ili sfere sa konstantnim prečnikom. Tačke preseka određuju nepoznatu lokaciju prijemnika. Preciznost u određivanju lokacije prijemnika zavisi od broja predajnika koji učestvuju u trilateraciji.

Tehnika triangulacije predstavlja način određivanja incidentnih uglova između svakog LED predajnika i prijemnika. Za određivanje lokacijskih koordinata prijemnika koriste se trigonometrijske jednačine. Jednostavnije tehnike triangulacije daju rešenja male preciznosti. Kako bi se unapredila preciznost, moguće je primeniti dvofazni pristup

[14]. U prvoj fazi dobija se približna procena lokacije prijemnika primenom samo RSS podataka. Nakon toga, za dobijanje tačne lokacije koriste se podaci o azimutu i elevaciji. Stoga, čak i u slučaju da tehnika triangulacije ne obezbedi tačnu lokaciju, ovaj algoritam obezbeđuje približnu procenu lokacije prijemnika na osnovu RSS podataka.

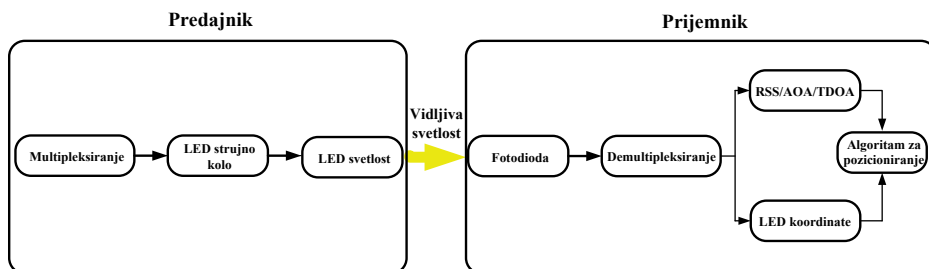
Tehnika multilateracije može se primeniti nakon dobijanja TDOA podataka. Razlika u rastojanjima između prijemnika i bilo koja dva LED predajnika može se odrediti na osnovu merenja razlike u vremenima prispeća signala. Koordinate bilo koja dva LED predajnika i razlika u rastojanjima definiše skup tačaka koji formiraju hiperboloid. Presek hiperboloida i odgovarajuće ravni čini konus. Kako bi se unapredila preciznost, potrebno je posmatrati više od dve razlike u vremenu za stvaranje višestrukih konusa koji predstavljaju granice u okviru kojih se nalazi lokacija prijemnika.

4. Konfiguracije VLC sistema za pozicioniranje u zatvorenim prostorima

VLC sistemi za pozicioniranje u zatvorenim prostorima mogu se klasifikovati na sisteme sa prijemnicima zasnovanim na fotodiodama i sisteme sa prijemnicima zasnovanim na kamerama. U opštem slučaju, ovi sistemi određuju lokaciju prijemnika u odnosu na poziciju predajnika u posmatranom zatvorenom prostoru.

4.1. VLC sistemi sa prijemnicima zasnovanim na fotodiodama

Arhitektura predajnika i prijemnika u ovim sistemima prikazana je na Slici 2. Algoritam za pozicioniranje određuje lokaciju prijemnika u zavisnosti od karakteristika signala na prijemu. Polazna pretpostavka je da LED predajnici emituju svetlost uniformno u svim smerovima, kao i da intenzitet svetlosti na prijemu ostaje isti nezavisno od ugla posmatranja. Pored toga, u situacijama kada je rastojanje između predajnika i prijemnika značajno veće od dimenzija prijemnika smatra se da je snaga signala na prijemu konstantna.



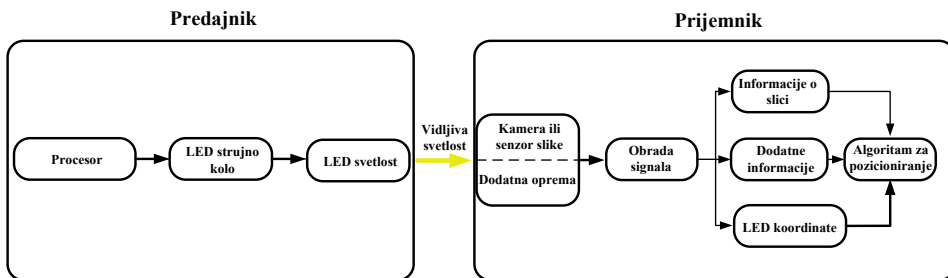
Slika 2. Arhitektura predajnika i prijemnika u VLC sistemu za pozicioniranje sa prijemnicima zasnovanim na fotodiodama

Pozicioniranje pomoću sistema sa prijemnicima zasnovanim na fotodiodama može se vršiti primenom jedne fotodiode i više LED predajnika, jedne fotodiode i jednog LED predajnika i pomoću više fotodioda i jednog LED predajnika [15]. Najčešće se koriste VLC sistemi za pozicioniranje koji se sastoje od jedne fotodiode na prijemu i više LED predajnika, pri čemu je potrebno najmanje tri LED predajnika za dobijanje RSS

informacija. TDOA sistemi zahtevaju najmanje tri LED predajnika za procenu lokacije u dve dimenzije, odnosno četiri LED predajnika za procenu lokacije u tri dimenzije. U slučaju primene AOA sistema, prijemnik je okružen sa više LED predajnika koji imaju ograničeno vidno polje. Ukoliko postoji mogućnost prijema signala od LED predajnika, znači da se prijemnik nalazi u vidnom polju predajnika. Lokacija prijemnika može se okvirno proceniti na osnovu podataka od različitih predajnika. Preciznost se može poboljšati povećanjem broja predajnika. U praktičnom smislu, pozicioniranje primenom jedne fotodiode i jednog LED predajnika nije izvodljivo. Kako bi se ovaj izazov prevazišao, moguće je koristiti senzore koji bi merili incidentni ugao zračenja, na osnovu čega je moguće dobiti RSS primenom sistema jednačina. Iako je ovaj proces složen i dugotrajan a performanse nisu obećavajuće, može biti komplementarno rešenje u nekim izuzetnim situacijama, naročito u slučajevima kada postoji deficit u izvorima svetlosti [15]. U slučaju primene sistema sa više fotodioda i jednim LED predajnikom, RSS vrednosti se koriste za pozicioniranje u dve dimenzije tako što se računa rastojanje po horizontali između svakog prijemnika i svakog predajnika.

4.2. VLC sistemi sa prijemnicima zasnovanim na kamerama

U slučaju primene sistema za pozicioniranje sa prijemnicima zasnovanim na kamerama, kamera (senzor slike) pravi slike LED predajnika. Arhitektura predajnika i prijemnika u ovim sistemima prikazana je na Slici 3. Pozicija LED predajnika na slici definiše njegovu lokaciju u koordinatnom sistemu slike. Koordinate LED predajnika mogu se odrediti uzastopnim kreiranjem slika. Nakon određivanja koordinata LED predajnika, moguće je odrediti orijentaciju i lokaciju prijemnika primenom metoda za obradu slike. Složenost ove tehnike može se redukovati korišćenjem dodatne opreme, kao što su dodatni senzori i sočiva [15]. Međutim, uvođenje dodatne opreme povećava ukupne troškove. Složenost se takođe može smanjiti čuvanjem slika koje su kreirane u različitim prethodno poznatim lokacijama. Trenutne slike se zatim porede sa prethodno sačuvanim slikama.



Slika 3. Arhitektura predajnika i prijemnika u VLC sistemu za pozicioniranje sa prijemnicima zasnovanim na kamerama

5. Poređenje različitih tehnika za pozicioniranje primenom VLC sistema

U ovom poglavlju različite tehnike za pozicioniranje primenom VLC sistema poređene su u pogledu greške, složenosti, robustnosti i troškova.

Greška pri određivanju lokacije predstavlja razliku između stvarnih i procenjenih koordinata lokacije prijemnika. VLC sistemi za pozicioniranje u zatvorenim prostorima imaju veliku tačnost, a greška pri određivanju lokacije je svega nekoliko centimetara. U opštem slučaju, sistemi za pozicioniranje sa prijemnicima zasnovanim na fotodiodama pokazuju veću tačnost u poređenju sa sistemima za pozicioniranje sa prijemnicima zasnovanim na kamerama. Analiza sistema za pozicioniranje sa prijemnicima zasnovanim na fotodiodama pokazuje da primena sistema jednačina na osnovu poznatih RSS i TDOA informacija postiže najveću preciznost pri određivanju lokacije. *Fingerprinting* algoritmi takođe mogu ostvariti visoku preciznost. Ipak, njihova efikasnost zavisi od vrste primenjene tehnike za pozicioniranje i vrednosti koje su ranije sačuvane u bazi podataka koju koristi *fingerprinting* algoritam. Algoritmi trilateracije i triangulacije pokazuju rezultate koji su uporedivi sa rezultatima koje postiže *fingerprinting* algoritam. Pored toga, algoritmi zasnovani na TDOA informacijama obezbeđuju veću preciznost pri određivanju lokacije u poređenju sa algoritmima zasnovanim na RSS i AOA. Sistemi za pozicioniranje sa prijemnicima zasnovanim na kamerama bez dodatne opreme ostvaruju grešku pri određivanju pozicije u opsegu od 50 cm do 150 cm. Kao što je već ranije naglašeno, preciznost se može unaprediti primenom dodatne opreme. Primena dodatnog senzora slike ili sočiva može smanjiti grešku na 10 cm. U praktičnim implementacijama, preciznost pri određivanju lokacije ograničena je iz više razloga. Uspostavljanje direktne linije optičke vidljivosti je veliki izazov. Refleksija, prostiranje višestrukim putanjama i difuzija svetlosti od različitih objekata u posmatranom zatvorenom prostoru narušava performanse sistema. U sistemima za pozicioniranje sa prijemnicima koji su zasnovani na kamerama šum utiče na boju, osvetljenje, kontrast i druge karakteristike piksela slike.

Složenost VLC sistema za pozicioniranje u zatvorenim prostorima može se posmatrati sa aspekta hardverske i računarske složenosti. Hardverska složenost odnosi se na složenost hardverskih komponenata i na složenost njihove integracije u sistem. Stoga, VLC sistemi za pozicioniranje sa prijemnicima zasnovanim na fotodiodama su složeniji u pogledu hardverske složenosti s obzirom da je potrebno više električnih komponenata u poređenju sa VLC sistemima za pozicioniranje sa prijemnicima zasnovanim na kamerama. Sistemi sa minimalnom kompleksnošću su oni sa jednom kamerom. Hardverska složenost raste ukoliko se koristi dodatna oprema. Računarska složenost odnosi se na složenost matematičkih operacija koje se primenjuju u konkretnom algoritmu za pozicioniranje. Poželjno je implementirati algoritme sa što manjom računarskom složenošću s obzirom da takvi algoritmi zahtevaju manju potrošnju energije i bolje vreme odziva. U slučaju VLC sistema za pozicioniranje sa prijemnicima zasnovanim na fotodiodama, algoritmi koji uključuju rešavanje sistema jednačina imaju najmanju računarsku složenost. *Fingerprinting* algoritmi su složeniji zbog zahtevne inicijalne faze i pretraživanja baze podataka. Tehnike trilateracije, triangulacije i multilateracije zahtevaju iterativnu primenu algoritama za procenu koordinata prijemnika, što povećava složenost sistema. Sistemi sa jednom kamerom su najsloženiji s obzirom da se nepoznate promenljive određuju obradom slike. Upotreba dodatne opreme smanjuje računarsku složenost na račun povećane hardverske složenosti.

Robusnost sistema za pozicioniranje može se posmatrati u pogledu mogućnosti obezbeđivanja zadovoljavajuće procene lokacije prijemnika u odsustvu minimalnih zahteva, kao što su neophodni broj LED predajnika, zahtevi u pogledu sinhronizacije itd. Algoritmi koji koriste sistem jednačina ili se neke promenljive određuju na osnovu

zadatog broja jednačina često ne daju zadovoljavajuću procenu lokacije. Takva situacija se dešava kada signal na prijemu ne potiče od LED predajnika usled prisustva ometajućih fizičkih objekata ili nekih drugih ograničenja. Tehnike *fingerprinting*, trilateracija i triangulacija u svakoj situaciji obezbeđuju procenu lokacije. U slučaju primene VLC sistema za pozicioniranje sa prijemnicima zasnovanim na kamerama, tehnika koja koristi dva senzora slike i dva sočiva je najmanje robusna.

Ukupni troškovi implementacije jednog sistema za pozicioniranje zavise od neophodnih hardverskih i softverskih komponenti, vremena koje je potrebno za implementaciju i održavanje sistema, prostora koji taj sistem zauzima i potrošnje energije. Jedna od osnovnih prednosti VLC sistema za pozicioniranje je mogućnost ponovne upotrebe postojeće infrastrukture za rasvetu. Većina predloženih VLC sistema za pozicioniranje u zatvorenim prostorima koriste tri ili četiri LED predajnika [9]. Pokazalo se da upotreba više LED predajnika od potrebnog za rasvetu čini sistem skupim i složenijim. Ipak, na taj način mogu se poboljšati robusnost sistema i neidealni uslovi u kanalu. Pored toga, karakteristike i pouzdanost hardverskih komponenti, uključujući fotodiode, kamere i LED rasvetu, značajno utiču na troškove i performanse VLC sistema za pozicioniranje. U tom smislu, upotreba fotodioda visoke osetljivosti ili kamera visoke rezolucije povećava troškove sistema, ali obezbeđuje precizniju procenu lokacije.

6. Izazovi u primeni VLC sistema za pozicioniranje u zatvorenim prostorima

Najveći izazov u uspostavljanju VLC linka svakako je obezbeđivanje linije optičke vidljivosti između predajnika i prijemnika. Ovo je vrlo značajan izazov naročito u slučaju prepreka između predajnika i prijemnika koje se kreću u datom zatvorenom prostoru a koje mogu dovesti i do prekida komunikacije. Takođe, prirodno i veštačko svetlo dodaju šum i interferenciju u kanalu. VLC sistemi su bezopasni po zdravlje ljudi i otporni na elektromagnetno zračenje. Zahtevi u pogledu direktivnosti i uspostavljanja linije optičke vidljivosti ograničavaju mogućnost komunikacije na dati zatvoreni prostor, odnosno, nema mogućnosti propagacije signala kroz zidove. Ovo svojstvo je pogodno sa aspekta bezbednosti komunikacija. Usled visoke direktivnosti, moguća je ponovna upotreba prostora. Na taj način je moguća koegzistencija velikog broja VLC uređaja bez interferencije.

Broj, pozicija i postavljanje LED rasvete zavisi od potreba za osvetljenjem. Dualna upotreba postojeće infrastrukture uz ostvarivanje zahtevane preciznosti pri određivanju lokacije prijemnika predstavlja veliki izazov. Dodatni izazov predstavlja obezbeđivanje uniformne preciznosti u određivanju lokacije u oblasti pokrivenosti LED predajnika. Iz tog razloga je izbor komponenti VLC sistema za pozicioniranje od velikog značaja za praktičnu implementaciju.

Vodeći proizvođači elemenata za rasvetu teže razvijanju LED rasvete koja omogućava komunikaciju u domenu vidljive svetlosti. Neki VLC sistemi za pozicioniranje u zatvorenim prostorima već su implementirani [9]. Međutim, za uspešnu komercijalizaciju neophodno je razviti nove aplikacije koje će omogućiti obezbeđivanje mapa datog zatvorenog prostora i podržati navigaciju, kao i definisati međunarodne standarde koji obuhvataju sve aspekte VLC sistema za pozicioniranje u zatvorenim prostorima.

7. Zaključak

Imajući u vidu da GPS ne obezbeđuje zadovoljavajuće performanse u zatvorenim prostorima, pozicioniranje putem bežičnih mreža sve više dobija na značaju. Unapređenjem LED, sistemi za komunikaciju u domenu vidljive svetlosti, VLC sistemi, postaju alternativno rešenje za postojeće izazove. VLC sistemi mogu naći primenu u mnogim oblastima. Nedavno predloženi VLC sistemi za pozicioniranje u zatvorenim prostorima su u žiži interesovanja akademske zajednice, ali i privrede. Ovi sistemi predstavljaju obećavajuće rešenje zbog brojnih prednosti, kao što su veliki propusni opseg, energetska efikasnost, niski troškovi implementacije i održavanja, bezbednost u slanju podataka, neosetljivost na elektromagnetno zračenje, odsustvo štetnih uticaja po zdravlje ljudi itd. Ovaj rad predstavlja analizu mogućih primena VLC sistema za pozicioniranje i daje pregled predloženih algoritama za pozicioniranje u zatvorenim prostorima primenom VLC sistema. Poređenje ovih sistema, njihove prednosti i izazovi u široj primeni takođe su prikazani u ovom radu.

Zahvalnica

Ovaj rad je deo istraživanja u okviru projekta TR32025 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- [1]. E. D. Kaplan, C. J. Hegarty, “*Understanding GPS: principles and applications*”, Artech House Publishers, 2006.
- [2]. H. Lan, C. Yu, Y. Zhuang, Y. Li, N. El-Sheimy, “A Novel Kalman Filter with State Constraint Approach for the Integration of Multiple Pedestrian Navigation Systems”, *Micromachines*, vol. 6, pp. 926-952, 2015.
- [3]. Y. Zhuang, N. El-Sheimy, “Tightly-Coupled Integration of WiFi and MEMS Sensors on Handheld Devices for Indoor Pedestrian Navigation”, *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, pp. 224-234, 2016.
- [4]. Y. Zhuang, Z. Syed, Y. Li, N. El-Sheimy, “Evaluation of Two WiFi Positioning Systems Based on Autonomous Crowdsourcing of Handheld Devices for Indoor Navigation”, *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 15, pp. 1982-1995, 2016.
- [5]. Y. Zhuang, J. Yang, Y. Li, L. Qi, N. El-Sheimy, “Smartphone-Based Indoor Localization with Bluetooth Low Energy Beacons”, *Sensors*, vol. 15, no. 5 pp. 596, 2016.
- [6]. Y. Po, W. Wenyan, “Efficient Particle Filter Localization Algorithm in Dense Passive RFID Tag Environment”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, pp. 5641-5651, 2014.
- [7]. S. H. Fang, C. H. Wang, T. Y. Huang, C. H. Yang, Y. S. Chen, “An Enhanced ZigBee Indoor Positioning System With an Ensemble Approach”, *IEEE Communications Letters*, vol. 16, pp. 564-567, 2012.

- [8]. A. Sevincer, A. Bhattarai, M. Bilgi, M. Yuksel, N. Pala, "LIGHTNETs: Smart LIGHTing and mobile optical wireless NETWORKs—A survey", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, pp. 1620-1641, 2013.
- [9]. N. U. Hassan, A. Naeem, M. A. Pasha, T. Jadoon, C. Yuen, "Indoor Positioning Using Visible LED Lights: A Survey", *ACM Computing Surveys*, vol. 48, no. 2, pp. 1-32, 2015.
- [10]. U. Nadeem, N. U. Hassan, M. A. Pasha, C. Yuen, "Highly accurate 3D wireless indoor positioning system using white LED lights", *Electronics Letters*, vol. 50, no. 11, pp. 828-830, 2014.
- [11]. Z. Zhou, M. Kavehrad, and P. Deng, "Indoor positioning algorithm using light-emitting diode visible light communications", *Optical Engineering*, vol. 51, no. 8, pp. 085009-1-085009-6, 2012.
- [12]. S. Y. Jung, S. Hann, C. S. Park, "TDOA-based optical wireless indoor localization using LED ceiling lamps", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 57, no. 4, pp. 1592-1597, 2011.
- [13]. T. Gallagher, B. Li, A. Dempster, C. Rizos, "A sector-based campus-wide indoor positioning system", *Proceedings of the 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN)*, Zurich, Switzerland, 2010.
- [14]. G. Prince, T. Little, "A two phase hybrid RSS/AOA algorithm for indoor device localization using visible light", *Proceedings of the 2012 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Anaheim, USA, 2012.
- [15]. Y. Zhuang, L. Hua, L. Qi, J. Yang, P. Cao, Y. Cao, Y. Wu, J. Thompson, H. Has, , "A Survey of Positioning Systems Using Visible LED Lights", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, no. 3, pp. 1963-1988, 2018.
- [16]. M. Rahman, M. Haque, K. - D. Kim, "Indoor positioning by LED visible light communication and image sensors", *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 1, no. 2, pp. 161-170, 2011.

Abstract: *Indoor positioning systems have a wide range of applications. Global Positioning System (GPS) shows satisfactory performances in outdoor applications. However, multipath propagation and interferency are very challenging issues for GPS. Therefore, it shows poor performances in indoor environment or in tunnels. Recently, a Visible Light Communication (VLC) based indoor positioning systems are proposed. These systems are considered as a promising solution for current challenges with potential for a widespread use in industrial systems, offices, shopping malls, etc. Depending on the design of the VLC receiver, VLC based indoor positioning systems can be generally classified into a photodiode based VLC indoor positioning systems and a camera based VLC indoor positioning systems. This paper presents a comparative analysis of the proposed VLC indoor positioning techniques and provides an insight into advantages and challenges in their implementation.*

Keywords: *VLC, LED, indoor positioning*

A VISIBLE LIGHT COMMUNICATION BASED INDOOR POSITIONING SYSTEMS

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Branka Mikavica