

## KOMUNIKACIJA U DOMENU VIDLJIVE SVETLOSTI KAO DEO INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SISTEMA

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

**Sadržaj:** *Razvojem Light Emitting Diodes - LED, komunikacija u domenu vidljive svetlost, Visible Light Communication – VLC, postaje alternativa postojećim bežičnim tehnologijama. U poređenju sa ostalim izvorima svetlosti, LED pokazuju brojne prednosti kao što su energetska efikasnost, pouzdanost i dug životni vek. Savremeni transportni sistemi zahtevaju kontinuirano unapređivanje bezbednosti i efikasnosti. Pored pojedinačnih bezbednosnih mehanizama u samom vozilu, neophodno je razvijati složene sisteme koji doprinose unapređenju bezbednosti celokupnog transportnog sistema. VLC sistemi zanosnovani na LED mogu se implementirati u Inteligentnim Transportnim Sistemima – ITS, koristeći postojeću infrastrukturu, čime ova tehnologija predstavlja obećavajuće, troškovno efikasno rešenje sa mogućnošću široke primene.*

**Ključne reči:** *VLC, LED, ITS*

### 1. Uvod

Komunikacija u domenu vidljive svetlosti je bežična komunikaciona tehnologija u razvoju, koja koristi bele ili obojene *Light Emitting Diodes* (LED) u cilju omogućavanja prenosa podataka putem vidljive svetlosti kao medijuma za prenos. *Visible Light Communication* (VLC) za prenos podataka koristi vidljivi deo spektra od 375 nm do 750 nm. Imajući u vidu da je radio spektar ograničen resurs koji ne može da zadovolji rastuće zahteve za prenos podataka, vidljiva svetlost postaje novi medijum za prenos koji predstavlja dopunu RF spektru [1].

Za razliku od optičkih bežičnih komunikacionih sistema, VLC sistemi figurišu i kao komunikacioni sistem i kao sistem za osvetljavanje. S druge strane, oprema koja se koristi u VLC sistemima mora zadovoljiti ograničenja koja se tiču bezbednosti ljudskog oka, ali i obezbediti prenos podataka u situacijama kada je izvor svetlosti slab ili isključen. Velika prednost VLC sistema je ta što omogućava nadogradnju i upotrebu postojeće infrastrukture zbog moguće upotrebe uređaja za istovremeni prenos podataka i osvetljavanje. Na taj način, ovi sistemi mogu se realizovati uz minimalne investicione troškove. VLC sistemi koriste nelicencirani deo spektra širine 400 THz. Za razliku od radio talasa koji se, u poslednje vreme, smatraju potencijalno opasnim po zdravlje ljudi, i infracrvene svetlosti koja može oštetiti ljudski vid, vidljiva svetlost je potpuno bezbedna što predstavlja ogromnu prednost. Takođe, VLC sistemi su otporni na elektromagnetne

smetnje, što omogućava primenu u slučajevima kada nije pogodna upotreba sistema koji koriste radio talase, kao što su bolnice.

Najznačajniji izazov pri uspostavljanju optičkog linka između predajnika i prijemnika je uspostavljanje linije optičke vidljivosti, naročito u slučaju mobilnosti uređaja ili prepreka koje se mogu javiti između predajnika i prijemnika koje mogu dovesti do prekida prenosa podataka. Takođe, to je od velikog značaja u situacijama kada prirodno ili veštačko svetlo dodaje šum i interferenciju u kanalu. Osim linije vidljivosti, na primenu VLC u *outdoor* okruženju utiču i vremenski uslovi kao što su kiša, sneg, magla, itd. S druge strane, zahtevi za ostvarivanje linije optičke vidljivosti mogu biti značajni za primene koje zahtevaju visok nivo sigurnosti prenosa podataka, zato što ne postoji mogućnost prenosa kroz zidove, kao što je slučaj sa radio talasima. U slučaju VLC, jedan optički link može se usmeriti od, na primer, sijalice na plafonu do poda, tako da samo nekoliko korisnika deli link. Na taj način, moguće je postojanje velikog broja VLC uređaja bez interferencije. Izvori svetlosti, kao što su razne LED lampe postavljene u *indoor* i/ili *outdoor* okruženju, komercijalni displeji, semafori i drugi slični uređaji, omogućavaju da VLC tehnologija ima jako široku primenu.

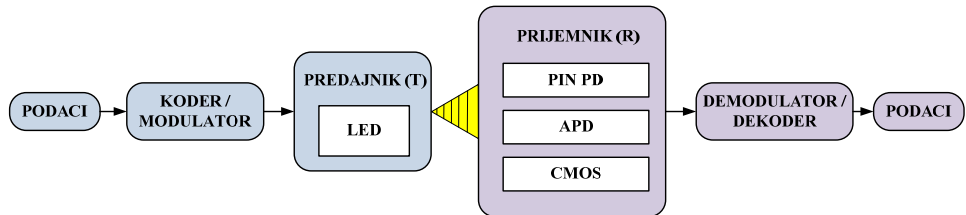
Pametno osvetljavanje putem VLC obezbeđuje infrastrukturu za osvetljavanje i komunikacije, ali i smanjuje potrošnju energije. Značajne novine u pogledu prenosa informacija o saobraćajnim tokovima u Inteligentnim Transportnim Sistemima (ITS) nastaju uvođenjem komunikacije u domenu vidljive svetlosti. Za unapređenje performansi transportnih sistema, razvijeni su različiti modeli komunikacije između vozila: *vehicle-to-infrastructure* (V2I), *vehicle-to-vehicle* (V2V) i *infrastructure-to-vehicle* (I2V) [1]. VLC takođe može da omogući navigaciju u gradskim sredinama gde je *Global Positioning System* (GPS) signal slab ili ga nema usled blizine vrlo visokih zgrada ili u tunelima. Takođe može imati značajnu ulogu u obezbeđivanju *Internet of Things* i *Machine-to-Machine* komunikacija. Imajući u vidu da radio frekvencije potencijalno mogu ugroziti bezbednost vazduhoplova, a za osvetljenje u avionima se već koristi LED rasveta, svaki od uređaja u rasveti moguće poslužiti kao VLC predajnik čime bi putnicima istovremeno obezbeđivali osvetljavanje i neke komunikacione servise. Takođe, ovim se mogu smanjiti troškovi konstrukcije aviona, kao i njegova težina [2]. Pored prethodno navedenih, područja koja mogu imati brojne prednosti od implementacije VLC su i muzeji, bolnice, a primenu može naći i u podvodnim komunikacijama [3].

Ovaj rad je koncipiran na sledeći način. Nakon uvoda, u drugom delu rada predstavljene su neke osnovne karakteristike VLC tehnologije, arhitektura sistema i načini realizacije VLC linka. Mogućnosti primene VLC tehnologije u ITS-u analizirane su u trećem delu rada. Četvrti deo rada prikazuje izazove u pogledu buduće primene VLC sistema. Zaključna razmatranja data su na kraju rada.

## **2. Arhitektura VLC**

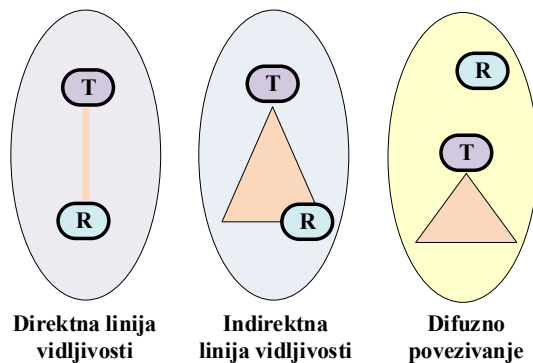
Tipična VLC arhitektura sastoji se od predajnog entiteta (T) i prijemnog entiteta (R), koji su povezani modulisanim vidljivim svetlom, kao što je prikazano na Slici 1. Ovi entiteti mogu biti uređaji kao što su mobilni personalni uređaji, vozila i/ili uređaji javne rasvete. VLC predajnik je optoelektrični konvertor koji prenosi podatke putem vidljive svetlosti kao medijuma za prenos. Najveću primenu imaju LED, koje emituju svetlost koja se može modulirati na tako visokim učestanostima da na ljudsko oko ne utiče bilo kakva razlika u osvetljenju u odnosu na situaciju bez modulacije. Kao rezultat, VLC

predajnici mogu se istovremeno koristiti i za osvetljavanje i za prenos podataka. VLC prijemnik može se sastojati od PIN diode, lavinske fotodiode (APD) ili *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) senzora koji prima podatke. Signal koji je prethodno modulisan u vidljivom spektru se tada (u prijemnom delu VLC linka) konvertuje u električne signale koji se mogu obraditi u demodulatoru/dekoderu [1].



Slika 1. Arhitektura VLC sistema

Postoje tri osnovna načina realizacije VLC linka u zavisnosti od načina ostvarivanja veze između predajnika i prijemnika i to: sa direktnom linijom vidljivosti, sa indirektnom linijom vidljivosti i difuzno, kao što je prikazano na Slici 2.



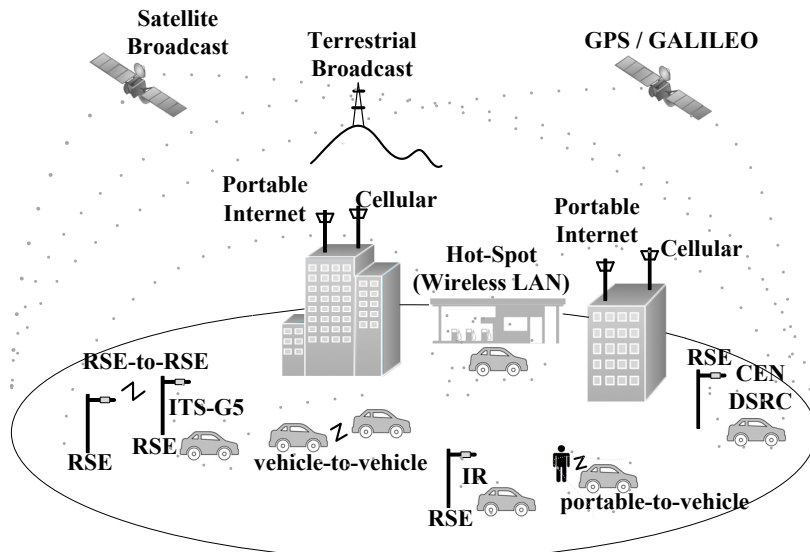
Slika 2. Moguće realizacije VLC linkova

VLC sistemi kod kojih je ostvarena direktna linija vidljivosti imaju omogućen prijem signala najvećeg protoka na najdužim rastojanjima. Ove performanse se postižu na osnovu vrlo strogih zahteva u pogledu preciznog poravnanja. U slučaju indirektna linije vidljivosti, prijemnik ima šire “vidno polje”, poravnanje je jednostavnije, ali nivo signala je na srednjem nivou. Osnovni nedostatak ovakve realizacije VLC linka je ostvarivanje kraćih rastojanja sa visokim ili srednjim vrednostima protoka. Difuzno povezivanje predajnika i prijemnika obezbeđuje najniže vrednosti protoka koji nema problema sa poravnanjem, ali je pogodan samo za upotrebu u *indoor* okruženju.

### 3. Primena VLC u ITS

Prema *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), Inteligentni transportni sistemi su sistemi koji pružaju podršku transportu robe i putnika na osnovu informacionih i komunikacionih tehnologija u cilju efikasne i bezbedne upotrebe

transportne infrastrukture i transportnih sredstava [4]. Osnovni cilj je poboljšanje bezbednosti i efikasnosti transportnog sistema, ali i smanjenje emisije štetnih gasova. Termin ITS komunikacije, *ITS communications* (ITSC), označava komunikacione protokole, sisteme za upravljanje i dodatne funkcionalnosti. ITS komunikacije predstavljaju novu vrstu komunikacionih sistema koji su namenjeni transportnim scenarijima, kao što je prikazano na Slici 3. Arhitektura ITSC je zamišljena kao otvoren sistem [4].



Slika 3. Ilustracija ITSC [5]

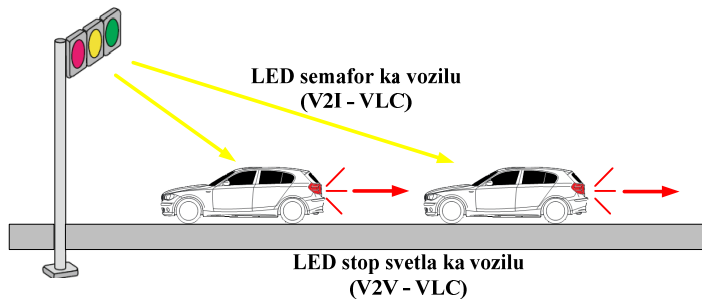
ITS aplikacije najčešće koriste bežične komunikacione sisteme između ITS stanica (vozila) i između mobilnih ITS stanica i fiksnih ITS stanica (infrastruktura kraj puta), sa jednim ili više hopova između izvorišnih i odredišnih ITS stanica. Takođe omogućavaju pristup javnim i privatnim (lokalnim) mrežama uključujući i pristup Internetu. ITSC se zasniva na dva domena: "ITS domenu" i "generičkom domenu". "ITS domen" odnosi se na sve elemente ITSC koji su specifični za ITS/ITSC standarde. "Generički domen" predstavlja druge elemente koji se koriste za ITS/ITSC. Podaci dostupni iz vozila i *Road Side Units* (RSU) mogu se slati lokalno u okviru geografski ograničene mreže ili do servera za centralnu obradu. Ovi podaci mogu se koristiti za detekciju događaja kao što su saobraćajne nezgode, radovi na putu, zagušenja u saobraćaju, približavanje vozila hitnih službi, itd. Takvi podaci se obrađuju u cilju pružanja podrške u vožnji konkretnom vozilu ili grupi vozila [5].

Poznato je da su bežične komunikacije prepoznate kao najvažnija tehnologija koja pruža podršku ITS. Razvojem LED, VLC postaje alternativa postojećim bežičnim tehnologijama u ITS. VLC sistemi zasnovani na LED mogu se primeniti u ITS-u koristeći postojeću infrastrukturu, kao što su semafori sa LED svetlima. VLC sistemi omogućavaju *broadcast* informacija vezanih na bezbednost u saobraćaju, čime se pruža podrška smanjenju broja saobraćajnih nezgoda i regulisanje saobraćajnih tokova. Iz tog razloga, VLC predstavlja troškovno efikasno rešenje sa širokim područjem primene [6]. Ipak,

treba napomenuti da u poređenju sa razvijenim RF tehnologijama, VLC je još uvek u početnoj fazi i potrebna su značajna unapređenja pre njegove šire primene u ITS [1].

### 3.1. Semafori kao deo VLC sistema

Semafori zasnovani na LED i VLC sistemi u vozilima mogu biti sastavni deo ITS i imati značajnu ulogu u unapređivanju bezbednosti na putevima tako što će omogućiti vozilima koji imaju ugrađene VLC prijemnike blagovremen prenos informacija o uslovima u saobraćaju, kao što je prikazano na Slici 4.



Slika 4. Primer I2V i V2V komunikacija primenom VLC

U izradi semafora postepeno se prelazi sa električnih sijalica ka LED osvetljenju zbog brojnih prednosti, energetske efikasnosti, dugotrajnosti, niskih troškova održavanja, bolje vidljivosti i manjeg zagrevanja. Uređaji u ovakvom sistemu rasvete mogu ujedno biti i predajnici, gde se signali prenose od rasvete koja je deo infrastrukture, dok su prijemnici ugrađeni u vozila (I2V komunikacije). RSU, kao što su semafori sa LED osvetljenjem pogodni su za *broadcast* informacija u I2V komunikacionim sistemima. Informacije o uslovima u saobraćaju mogu se kontinualno prenositi bez dodatne potrošnje energije, uz regulisanje saobraćajnih tokova, kao i smanjivanje broja saobraćajnih nezgoda. Pošto se svetlost prostire pravolinijski, moguće je uspostaviti vrlo usmerene komunikacije. Ovo je posebno pogodno u situacijama koje zahtevaju slanje informacija o uslovima u saobraćaju za svaku traku na putu. Moguće je takođe uspostaviti razmenu informacija između susednih vozila (V2V komunikacije) koristeći prednja, zadnja i stop svetla. U slučaju V2V, vozilo koje se nalazi ispred semafora prima informacije i prosleđuje ih vozilima koja se nalaze iza preko stop svetala. Posmatrano iz ugla *Vehicular Ad-Hoc Network* (VANET), VLC može predstavljati mrežu za pristup. Oblasti primene V2V su iste kao i za RF, uključujući unapređenje bezbednosti u saobraćaju, efikasnosti tokova, lokalne servise i pristup Internetu. Jasno je da su ograničenja u pogledu kašnjenja i dometa pri prenosu informacija veća u situacijama koje su kritične sa aspekta bezbednosti u odnosu na neke druge tehnologije. Novija istraživanja pokazuju da se to može eliminisati upotrebom dodatne opreme.

### 3.2. VLC sistemi za upozoravanje učesnika u saobraćaju i prevenciju nezgoda

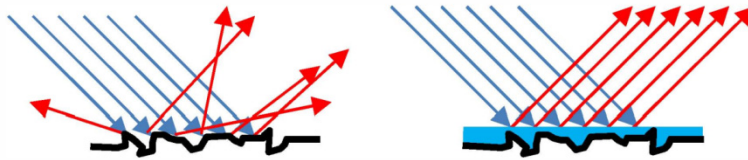
Jedan od sistema koji je razvijen za potrebe upozoravanja i izbegavanja nezgoda je *Collision Warning and Avoidance System* (CWAS) [7]. Za implementaciju ovog sistema neophodno je da sva vozila koja učestvuju u saobraćaju budu opremljena VLC

predajnicima i prijemnicima. Analizirajući podatke koje dobija od vozila iz svog okruženja, vozilo formira mapu koja sadrži relativne pozicije, pravce kretanja, trenutne brzine i ubrzanja svih vozila sa kojima ima uspostavljen direktan link. Ovaj sistem može se koristiti i za ranu detekciju sporih ili zaustavljenih vozila na putu ispred datog vozila. Nakon detekcije, sistem predviđa trajektorije detektovanih vozila u narednih nekoliko sekundi. Ukoliko se utvrdi velika verovatnoća da će se trajektorije posmatranog i detektovanog vozila u nekom trenutku ukrstiti, automatski se izdaje upozorenje vozaču da prilagodi upravljanje svojim vozilom kako bi se izbegla neželjena situacija. Za funkcionisanje ovog sistema neophodno je ispuniti sledeće zahteve: maksimalni domet mora biti 150 m, maksimalno kašnjenje paketa je 100 ms a veličina paketa je 53 bajta [7].

Sistem koji funkcioniše na sličan način je *Lane Change Assistance/Warning* [7]. Ovaj sistem takođe formira mapu sa podacima o okolnim vozilima, uključujući i vozila u susednim trakama. Ukoliko u datom trenutku nije bezbedno izvršiti promenu trake, sistem obaveštava vozača o tome. Asistencija i upozoravanje prilikom promene traka zahteva izuzetno veliku preciznost koju GPS nije u mogućnosti da obezbedi, tako da je VLC tehnologija odlična alternativa za ovakvu vrstu sistema. Zahtevi ovog sistema su maksimalni domet mora biti 150 m, maksimalno kašnjenje paketa je 150 ms a veličina paketa je 36 bajta [7].

### 3.3. Sistem za detekciju površine kolovoza

Pored integracije LED u formi prednjih svetala, pozicionih i stop svetala, LED nalazi primenu i kod svetla za maglu koja su najčešće postavljena u neposrednoj blizini kolovoza tako da vozači mogu jasno da uoče stanje kolovoza i graničnike. VLC tehnologija može se koristiti za detekciju površine kolovoza putem svetla za maglu, čime se vozač obaveštava o tome da li je kolovoz vlažan ili suv [8]. LED lampe osvetljavaju površinu kolovoza a fotodetektori primaju signal usled difuzne refleksije. Posebna pažnja mora se obratiti kada je kolovoz vlažan, s obzirom da je to jedan od najopasnijih stanja na kolovozu, najčešće kao posledica kiše. Kada svetlost obasja površinu javlja se refleksija, prenos i absorpcija. Difuzna refleksija predstavlja refleksiju svetla od neravne površine, pa se upadni svetlosni zrak reflektuje iz mnogo uglova, za razliku od refleksije od ogledala. Najčešće se dešava kada upadno svetlo dolazi na neravnu površinu. Neki zraci se usled difuzne refleksije mogu vratiti nazad oko ugla upadnog zraka, kao što je prikazano na Slici 5. Kada je kolovoz mokar, voda popunjava sitne neravnine na putu, čineći kolovoz glatkim što omogućava refleksiju nalik refleksiji od ogledala. Ovim se minimizira difuzna refleksija. Pored toga, ako je nivo vode dovoljno dubok, dolazi do potpune unutrašnje refleksije unutar bare. Ukupna unutrašnja refleksija javlja se između dva različita medijuma fluida, kao što su vazduh i voda, usled različitih indeksa prelamanja. Kada dolazeći zrak svetlosti pređe površinu vode, dolazi do prelamanja zraka usled difuzne refleksije. Tada, za uglove koji su veći ili jednaki kritičnom uglu, difuzna refleksija će se takođe reflektovati nazad u vodu usled ukupne unutrašnje refleksije. Rezultat toga je smanjenje uticaja zraka koji se ponovo reflektuju nazad do fotodetektora. Na taj način, sa povećanjem dubine vode na kolovozu, smanjuje se difuzna refleksija. To zapravo znači da se svaka promena nivoa vode može izmeriti.



Slika 5. Refleksija svetlosti u slučaju suvog i vlažnog kolovoza [8]

U sistemu predloženom u [8], svetla za maglu obasjavaju površinu kolovoza, dok se integracijom fotodetektora u okviru prednjih svetala postiže detekcija reflektovane svetlosti. Eksperimentalno je utvrđeno da se za različite vlažnosti kolovoza, od suvog kolovoza do nivoa od 15 mm vode na kolovozu, primećuje svetlost različitih intenziteta. Najveći intenzitet svetlosti je izmeren kod suvog kolovoza, dok je najmanji u slučaju kada je nivo vode na kolovozu 15 mm. Takođe, sa smanjenjem dubine vode na kolovozu, smanjuje se i trajanje impulsa, dok u slučaju previsokog nivoa vode ne dolazi do difuzne refleksije. Pored toga, utvrđeno je da se slanjem podataka na niskim frekvencijama povećava tačnost detekcije površine kolovoza pri naglim promenama kretanja vozila ili iznenadnim promenama nivoa vlažnosti kolovoza [8].

### 3.4. Pozicioniranje putem vidljive svetlosti

Poznato je da GPS ne pokazuje dobre performanse u zatvorenim prostorijama ili u urbanim sredinama, kada dolazi do interferencije prouzrokovane višestrukim putanjama i prekida linka zbog neposredne blizine velikog broja visokih zgrada. U tom slučaju, pomoću sistema pozicioniranja putem vidljive svetlosti mogu se obezbediti informacije o poziciji u realnom vremenu, gde se kao izvori svetlosti mogu koristiti semafori ili ulična rasveta [9]. Sistem pozicioniranja na otvorenom putem vidljive svetlosti podrazumeva implementaciju LED semafora kao predajnika i primenu metoda procesiranja slike kako bi se odredila pozicija vozila. Ove metode zahtevaju korišćenje skupih kamera i kompleksnih procedura procesiranja slika, što je još uvek najveće ograničenje za široku primenu ove tehnologije. U slučaju pozicioniranja na osnovu pozicioniranih svetala, moguća je procena samo relativne lokacije vozila, što za veliki broj aplikacija ne pruža dovoljno precizne informacije. Sistem koji koristi dve fotodiode na strani prijema umesto *high-speed* kamera ima veću cenovnu efikasnost. Ovakav sistem sastoji se od semafora i dve fotodiode. Svetlost, koju emituju svetla semafora, sadrži informacije o poziciji. Dve fotodiode koje su postavljene na prednjoj strani vozila detektuju tu svetlost putem VLC linka. Pozicija vozila se određuje na osnovu primljenih informacija o poziciji semafora i razlike u vremenu prispeća signala do fotodioda. Ovaj sistem može imati dva semafora, kada jedan može biti namenjen, na primer, vozačima, a drugi pešacima. Istraživanja pokazuju da se smanjenjem rastojanja značajno smanjuje preciznost sistema za pozicioniranje putem vidljive svetlosti kada se koristi samo jedan semafor. Degradacija performansi ovog sistema naročito se javlja na rastojanjima manjim od 20 m. Pored toga, povećanje brzine vozila povećava i grešku pri pozicioniranju, čak i kada je vozilo udaljeno od semafora oko 50 m. U slučaju primene dva semafora u sistemu za pozicioniranje, uočljiv je sličan trend degradacije performansi. S obzirom da se smatra da je vozilo jednako udaljeno od oba semafora, prilikom smanjenja rastojanja između semafora i vozila drastično se povećava greška pri pozicioniranju. Ovi rezultati su

dobijeni u uslovima idealnog prenosa, uz dobru sinhronizaciju i odsustvo šuma na prijemu [9].

#### 4. Izazovi u budućoj primeni VLC sistema

Prenos putem vidljive svetlosti dosta zavisi od vremenskih uslova, pa može doći do velikih slabljenja u slučaju kiše, snega, a naročito magle. Pri pojavi magle, dolazi do smanjene vidljivosti, što čini VLC komunikaciju nepraktičnom, u nekim situacijama i nemogućom. Ovo je posledica same prirode magle, koja se sastoji od vodenih kapljica veoma male veličine. Iako je prečnik vodenih kapljica reda veličine nekoliko stotina mikrona, imaju veliki uticaj na putanju svetlosti posredstvom apsorpcije, rasejanja i refleksije. U slučaju pojave magle na putu, vozač najčešće pali prednja svetla, svetla za maglu, ili oba. U istraživanju [10] analiziran je prenos podataka putem pozicionog svetla, kao i koeficijenti slabljenja za različite boje LED lampi. Pokazalo se da je najmanje slabljenje pri korišćenju crvenih LED lampi u slučaju pojave magle, u poređenju sa zelenim i plavim. Ovo odgovara i boji pozicionog svetla koje je uglavnom crvene boje. Najveće slabljenje je prisutno kod plavih LED lampi. Sistem koji je predložen u [10] sastoji se od predajnika koji emituje svetlost crvene boje posredstvom pozicionog svetla i LED sočiva, kao i prijemnika koji se sastoji od Frenelovog sočiva i tri fotodiode. LED sočiva na strani predaje prilagođavaju oblast vidljivosti LED svetla. Na strani prijema, svetlost se koncentriše ka fotodiodama pomoću Frenelovih sočiva. Veliki izazov predstavlja obezbeđivanje komunikacije između vozila u pokretu, pri uslovima magle na putu kada ne postoji direktna linija vidljivosti. Sistem predložen u [10] vrši detekciju u okviru prijemnika merenjem najveće vrednosti primljenog signala između tri fotodiode. Pretpostavlja se da su fotodiode pozicionirane u središnjem delu prednje strane vozila. Na ovaj način, Frenelovo sočivo fokusira svetlost na jednu od tri fotodiode, iako dolazi do premeštanja fokusa. Rezultati pokazuju da primena Frenelovih sočiva na prijemu u značajnoj meri utiče na održavanje odnosa signal-šum. Takođe, sa povećanjem gustine magle smanjuje se odnos signal-šum, ali u prihvatljivim vrednostima čak i kad je velika gustina magle.

Nedavno je predložen sistem koji automatski podešava brzinu vozila na osnovu informacija o okruženju koje dobija od senzora na vozilu pod nazivom *Adaptive Cruise Control* (ACC) [7]. Jedna od najznačajnijih primena ovog sistema jeste povećanje kapaciteta saobraćajnica na osnovu smanjivanja rastojanja između vozila pod uslovom da se ne narušava bezbednost u saobraćaju. Međutim, pokazalo se da ovaj sistem ima ozbiljne nedostatke u vidu nepreciznosti, velikog kašnjenja i visoke cene. Kao rešenje za prevazilaženje ovih nedostataka, predložen je sistem *Cooperative Adaptive Cruise Control* (CACC), koji pored senzora koristi i V2V komunikacione linkove za prenos preciznih informacija od vozila koje prethodi datom vozilu [11]. Istraživanja pokazuju da CACC sistem opremljen VLC tehnologijom zadovoljava zahteve u pogledu brzine prenosa podataka i kašnjenja, i omogućava precizno određivanje rastojanja između vozila čime se eliminiše potreba za naknadnom implementacijom skupih senzora u vozilo.

VLC sistemi suočavaju se sa određenim tehničkim izazovima: relativna mobilnost u komunikaciji između vozila ili između vozila i infrastrukture može ometati LOS; na VLC ogroman uticaj ima prirodno i veštačko svetlo, a pre svega Sunčeva svetlost koja povećava šum i interferenciju. Prvi izazov može se rešiti optimizacijom fiksnih i mobilnih svetala (na vozilima), dok se interferencija može minimizirati



primenom optičkih filtara. Međutim, ovi izazovi značajno ograničavaju domete. Neki eksperimentalni rezultati pokazuju da je pouzdana komunikacija moguća kada se VLC predajnik i VLC prijemnik nalaze na udaljenosti manjoj od 40 - 50 m [12]. Pored ograničenja u pogledu propusnog opsega, aspekti kao što su modulacija signala, napajanje primopredajnika i višestruki pristup stvaraju poteškoće za širu implementaciju VLC. Ipak, prevazilaženje prethodno pomenutih izazova, komercijalizacija i standardizacija VLC sistema očekuje se u skorij budućnosti.

## 5. Zaključak

Integracija sistema koji rade u domenu vidljive svetlosti sa Inteligentnim Transportnim Sistemima može značajno unaprediti mnoge sfere saobraćaja i transporta. Upotreba nelicenciranog opsega i šira ugradnja VLC LED rasvete, kako u infrastrukturu, tako i u vozila, predstavljaju osnove za obezbeđivanje energetski efikasnog prenosa podataka dovoljno velikih protoka uz niske troškove. Iako postoji veliki broj prednosti VLC tehnologije u poređenju sa ostalim tehnologijama, komunikacija putem vidljive svetlosti još uvek je u fazi ranog razvoja. Aplikacije koje omogućavaju prenos podataka između vozila imaju zahteve koje VLC još uvek ne može da obezbedi u potpunosti. U skorij budućnosti očekuje se da će VLC prevazići ove izazove i ostvariti širu primenu u saobraćaju i transportu.

## Zahvalnica

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

## Literatura

- [1]. M. Falcitelli, P. Pagano, "Visible Light Communication for Cooperative ITS", *Intelligent Transportation Systems*, vol. 52, pp. 19-47, 2016.
- [2]. A. Cailean, B. Cagneau, L. Chassagne, S. Topsu, Y. Alayli, M. Dimian, "A Robust System for Visible Light Communication", *Proceedings of the 5th International Symposium on Wireless Vehicular Communications WiVeC*, Dresden, Germany, 2013.
- [3]. H. Burchardt, N. Serafimovski, D. Tsonev, S. Videv, H. Haas, "VLC: Beyond Point-to-Point Communication", *IEEE Communication Magazine*, vol. 52, pp. 98-105, 2014.
- [4]. *Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture*, ETSI EN 302 655 v.1.1.1, 2010.
- [5]. A. Kostic-Ljubisavljevic, V. Radonjic Djogatovic, B. Mikavica, "Visible Light Communication as a Segment of the Intelligent Transportation System", *Proceedings of the 6th International Conference Transport and Logistics*, Nis, Serbia, 2017.
- [6]. A. Cailean, B. Cagneau, L. Chassagne, S. Topsu, Y. Alayli, M. Dimian, "Visible Light Communications Cooperative Architecture for the Intelligent Transportation System", *Proceedings of the 20th International IEEE Symposium on*

- Communications and Vehicular Technology in the Benelux SCVT*, Namur, Belgiu, 2013.
- [7]. S. H. Yu, O. Shih, H. M. Tsai, N. Wisitpongphan, R. D. Roberts, “Smart Automotive Lighting for Vehicle Safety”, *IEEE Communication Magazine*, vol. 51, pp. 50-59, 2013.
- [8]. W. Cahyadi, Y. Kim, Y. Chung, Z. Ghassemlooy, “Efficient Road Surface Detection Using Visible Light”, *Proceedings of the 7th International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)*, Sapporo, Japan, 2015.
- [9]. S. Arnon, *Visible Light Communication*, Cambridge University Press, United Kingdom, 2015.
- [10]. Y. Kim, W. Cahyadi, Y. Chung, “Experimental Demonstration of VLC-Based Vehicle-to-Vehicle Communications Under Fog Conditions”, *IEEE Photonics Journal*, vol. 7, no. 6, 2015.
- [11]. K. Sjöberg, P. Andres, T. Buburuzan, A. Brakemeier, “Cooperative Intelligent Transport Systems in Europe Current Deployment Status and Outlook”, *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 12, no. 2, pp. 89-97, 2017.
- [12]. N. Kumar, N. Lourenco, D. Terra, L. N. Alves, R. L. Aguiar, “Visible Light Communications in Intelligent Transportation Systems”, *Proceedings of the Intelligent Vehicles Symposium*, Alcala de Henares, Spain, 2012.

**Abstract:** *With the advancement of Light Emitting Diodes - LED, Visible Light Communication - VLC, becomes an alternative to other existing wireless technologies. In comparison with conventional lighting sources, LED have better performances in terms of energy efficiency, reliability and life-time. Contemporary transportation systems demand permanent improvement of the safety and efficiency. Along with the individual safety mechanisms in the vehicle, there is a strong requirement for complex systems that contribute to the safety of the entire transportation system. LED-based VLC systems can be deployed in Intelligent Transportation System - ITS using existing infrastructure. Therefore, this is a promising, cost-effective technology with a potential of large scale acceptability.*

**Keywords:** *VLC, LED, ITS*

## **VISIBLE LIGHT COMMUNICATIONS AS A SEGMENT OF THE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS**

Aleksandra Kostić-Ljubisavljević, Branka Mikavica