

FiWi I LiFi ŠIROKOPOJASNE MREŽE ZA PRISTUP

Zlatica Marinković, Miloš Mitić, Nebojša Dončov
Univerzitet u Nišu - Elektronski fakultet, zlatica.marinkovic@elfak.ni.ac.rs,
shamy994@gmail.com, nebojsa.doncov@elfak.ni.ac.rs

Sadržaj: *Potreba krajnjih korisnika za prenosom sve većih količina podataka, sve većim brzinama, stvara potrebu razvoja novih generacija pristupnih mreža. U radu je dat kratak prikaz FiWi (Fibre Wireless) i LiFi (Light Fidelity) pristupnih mreža, koje predstavljaju najnovija rešenja u razvoju širokopolasnih pristupnih mreža. Prikazane su osnovne karakteristike mreža, prednosti njihovog uvođenja, kao i izazovi u razvoju i implementaciji mreža.*

Ključne reči: *Širokopolasne mreže za pristup, FiWi, LiFi*

1. Uvod

Širokopolasni pristup velikim brzinama je jedna od potreba savremenog društva i predstavlja jedan od izazova u razvoju pristupnih mreža. Tehnologije širokopolasnog pristupa bazirane na kablovima sa metalnim provodnicima (DSL – *Digital Subscriber Loop* preko kablova sa upredenim bakarnim paricama [1], kablovske mreže preko koaksijalnih kablova) i hibridne optičko koaksijalne mreže (HFC – *Hibrid Fiber Coax*), polako predaju primat optičkim pristupnim mrežama (PON – *Passive Optical Networks*), gde se optičkim kablom dolazi do samih korisnika (FTTH – *Fiber-to-the-Home*), što obezbeđuje širok propusni opseg i velike brzine pristupa [2]. Sa druge strane, bežične pristupne mreže (poput WiMAX - *Worldwide Interoperability for Microwave Access* ili lokalnih WiFi – *Wireless Fidelity* mreža) ne zahtevaju velika ulaganja u infrastrukturu za razliku od optičkih mreža i mogu biti pogodne u gusto naseljenim sredinama, ali su podložne smetnjama i mogu imati ograničen propusni opseg [3]-[4]. Zbog toga je došlo do razvoja hibridnih optičko-bežičnih mreža koje kombinuju optički kabl i bežičnu mrežu za ostvarivanje širokopolasnog pristupa. Ovakve mreže su nazvane FiWi (*Fiber-Wireless*) mrežama. Optika je prisutna u jezgru mreže za pristup, dok se krajnji korisnici povezuju na mrežu za pristup bežičnim putem [5]-[7]. Pored kombinovanja optičkih i bežičnih pristupnih tehnologija, razvijaju se i novi načini pristupa, poput korišćenja infrastrukture elektroenergetskih instalacija za pristupne mreže (PLC – *Power Line Communcations*) [8]-[9]. Najnovije rešenje za pristupne mreže se bazira na prenosu informacija svetlosnim putem kroz slobodni prostor. Ovakve pristupne mreže se nazivaju LiFi (*Light Fidelity*) mrežama [10]. Iako se LiFi tehnologija zasniva na istim principima kao i VLC (*Visible Light Communication*), ove dve tehnologije se ne mogu poistovetiti.

Naime, VLC se smatra tehnikom komunikacije tačka-tačka, esencijalno predstavlja zamenu kabla, dok je LiFi kompletno bežičan mrežni sistem [10].

U ovom radu će posebna pažnja biti posvećena FiWi i LiFi pristupnim mrežama. U Sekciji 2 biće opisane FiWi pristupne mreže, a u Sekciji 3 LiFi pristupne mreže. Sekcija 4 biće posvećena hibridnim LiFi/WiFi pristupnim mrežama. Izvedeni zaključci biće dati u Sekciji 5.

2. FiWi pristupne mreže

Kao što je već rečeno u uvodnom delu, FiWi pristupne mreže predstavljaju hibridna rešenja nastala kombinacijom optičkih mreža i bežičnog pristupa na strani krajnjih korisnika [5]. Kao bežične pristupne tehnologije se koriste mobilne tehnologije, WiMAX i WiFi tehnologije. Optičke i bežične mreže u FiWi pristupnim mrežama je moguće kombinovati na više načina, tj. moguće su različite arhitekture mreža u zavisnosti od izabranih optičkih i bežičnih tehnologija.

FiWi mreže sa celularnim bežičnim pristupom, uglavnom podrazumevaju korišćenje *Radio-over-Fibre* (RoF) tehnologije, gde se preko optičkog kabla prenosi RF signal. Tipične arhitekture su tzv. pokretne ćelije koje se primenjuju u sistemima gde se mobilni korisnici brzo kreću, kao što je to slučaj sa prugama [5].

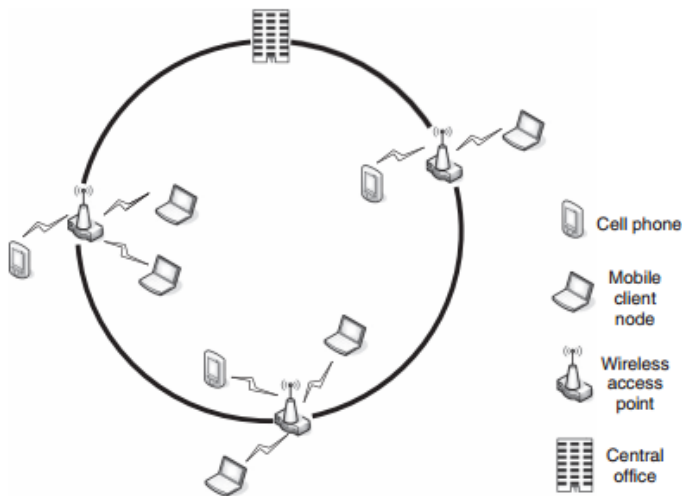
WiMAX bežični pristup je najčešće kombinovan sa EPON (*Ethernet PON*) optičkim pristupnim mrežama. Moguće je realizovati nekoliko tipova arhitektura [7]. Najjednostavnija arhitektura je nezavisno korišćenje EPON-a i WiMAX-a, gde su WiMAX bazne stanice (BS - *Base Station*) priključene na optičku mrežnu jedinicu (*ONU - Optical Network Unit*) kao i bilo koji korisnik. Hibridne arhitekture podrazumevaju integrisane ONU-BS koje objedinjuju funkcije ONU i WiMAX bazne stanice, kako hardverski, tako i softverski. Jedna od arhitektura podrazumeva prenos mikrotalasnih signala preko optičkog vlakna. U ovoj arhitekturi, WiMAX signal se moduliše na frekvenciju nosioca bežičnog signala i zajedno sa EPON signalom u osnovnom opsegu moduliše na zajedničku optičku talasnu dužinu. Centralni čvor se sastoji od EPON optičkog linijskog terminala (*OLT - Optical Line Terminal*) i centralne WiMAX bazne stanice, tzv. makro-BS.

Tabela 1. FiWi arhitekture mreža baziranih na WiFi tehnologiji

Arhitektura	Korišćenje PON	Korišćenje WMN	Rutiranje vrši	Dodelu kanala vrši	Nivo QoS	Postoji rekonfiguracija
Unidirekcioni prsten	Ne	Ne	AP	AP	Srednji	Da
Bidirekcioni prsten	Ne	Ne	CO	AP	Nizak	Ne
Hibridna zvezda prsten	Ne	Ne	CO	AP	Srednji	Da
Unidirekcioni prsten/PON	Da	Da	ONU-WG	ONU-WG	Visok	Da
BS - bazna stanica, AP – pristupna tačka, WG – bežični gejtvaj, ONU – optička mrežna jedinica, OLT – optički linijski terminal, CO – centrala						

Najčešće primenjena bežična tehnologija u FiWi pristupnim mrežama je WiFi tehnologija. U Tabeli 1 dat je pregled FiWi mrežnih arhitektura sa korišćenjem WiFi tehnologije. Za svaku arhitekturu navedeno je da li se koriste PON ili WMN (*Wireless Mesh Networks*) mreže, kao i ko vrši rutiranje i dodelu kanala. Takođe, prikazani su nivoi kvaliteta servisa (QoS – *Quality of Service*) i prikazano da li postoji mogućnost konfiguracije. U nastavku će biti ukratko opisane navedene WiFi FiWi arhitekture [5].

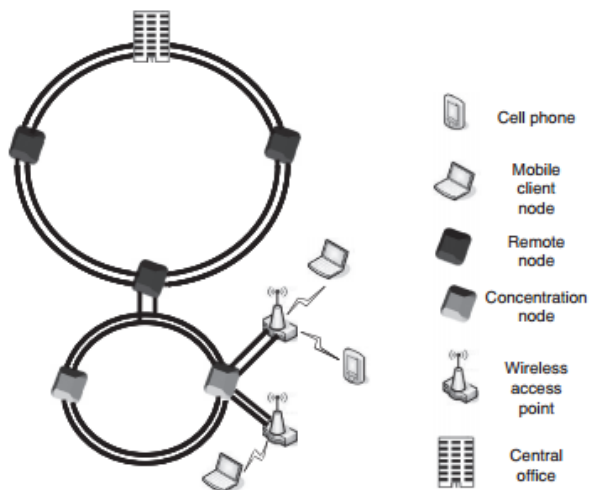
Unidirekcionni prsten: Mreža prikazana na Slici 1 povezuje centralu (CO - *Central Office*) sa više WiFi bežičnih pristupnih tačaka (AP - *Access Point*) optičkim unidirekcionim prstenom. CO je odgovoran za upravljanje prenosom informacija između mobilnih klijenata (MCN - *Mobile Client Node*) i njihovih dodeljenih AP. CO takođe predstavlja izlaz ka drugim mrežama. Svaki AP obezbeđuje bežični pristup mobilnim korisnicima u okviru svog dometa. U rekonfigurisanju topologije učestvuju, ne samo AP-ovi već i svi MCN. U cilju povećanja dometa koriste se multi skokovi. Da bi se poboljšala pouzdanost bežičnog linka, CO šalje informacije ka dva različita AP (raznovrsnost puteva). Kao posledica, CO mora dodeljivati kanale brzo i efikasno korišćenjem jednog ili više kanala u prstenu.



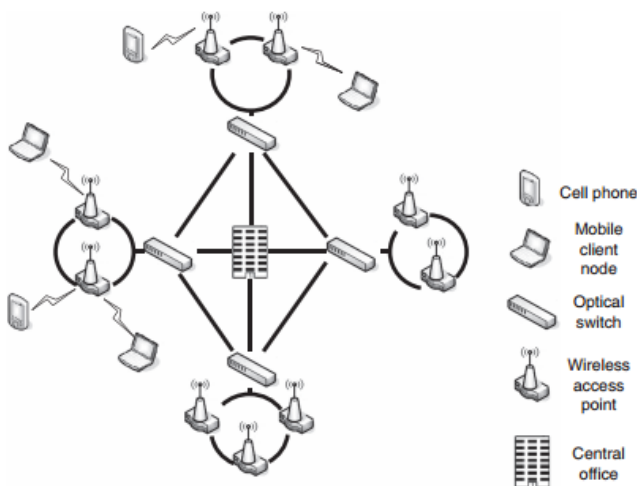
Slika 1. Optički unidirekcionni prsten koji povezuje WiFi bežične pristupne tačke [5]

Bidirekcionni prsten: Slika 2 pokazuje arhitekturu bidirekcionog prstena sa zaštitom puta (BPR - *Bidirectional Path-protected Ring*) sa dva nivoa. U ovoj arhitekturi, CO povezuje daljinske čvorove RN (*Remote Node*) preko prstena sa dvostrukim vlaknom. Svaki RN povezuje pristupne tačke AP kroz koncentracione čvorove CN (*Concentration Node*), gde svaki AP nudi usluge MCN-u. Kao zaštita, CO se oprema sa dva seta uređaja (normalan i *stand by*). Svaki RN se sastoji od jedinice zaštite i bidirekcionog add-drop multiplexera (ADM - *Add Drop Multiplexer*) talasnih dužina. Svaki CN sadrži zaštitnu jedinicu. AP sadrži optički primopredajnik, jedinicu zaštite, RF konvertore i antenu. Svaki AP ima širinu kanala od bar 5 MHz i opslužuje do 16 MCN korišćenjem multipleksa na bazi frekvencijske raspodele (FDM - *Frequency Division Multiplex*). U normalnim uslovima rada, CO šalje *downstream* signale u smeru obrnutom

od smeru kazaljke na satu preko RN i CN do AP. Ako dođe do presecanja vlakna između dva RN ili dva CN, nalazi se kvar praćenjem prijemnog optičkog signala i onda se signal prebacuje na zaštitni prsten u smeru kazaljke na satu. Ako se kvar desi kod AP, ponovo poslani signali se prebacuju kroz druge optičke puteve uključivanjem optičkog sviča u oštećenom AP-u. Ovakva arhitektura obezbeđuje visoku pouzdanost, fleksibilnost, kapacitet i samozaceljivanje [5].



Slika 2. Optički bidirekcionni prstenovi integrisani sa WiFi bežičnim pristupnim tačkama [5]

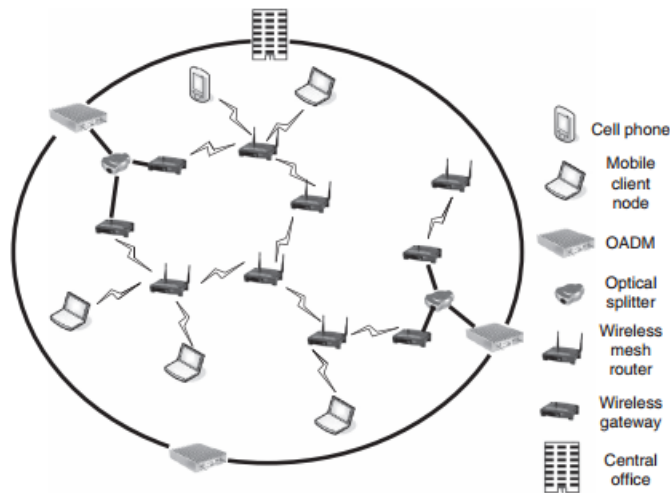


Slika 3. Optička hibridna mreža zvezda-prsten integrisana sa WiFi bežičnim pristupnim tačkama [5]

Hibridna arhitektura zvezda-prsten: Slika 3 pokazuje hibridnu FiWi arhitekturu koja kombinuje optičku zvezdu i prsten topologiju. Svaki optički prsten ima

nekoliko WiFi AP i povezan je na CO i dva susedna optička prstena preko optičkih svičeva. Optički svičevi imaju sposobnost potpune konverzije talasne dužine i povezuju AP i CO preko zajedničkih optičkih puteva tipa tačka-tačka. Mreža se periodično nadgleda za vreme određenih intervala. Na kraju svakog intervala, optički putevi mogu biti dinamički rekonfigurisani u skladu sa varirajućim zahtevima saobraćaja. Inače, ako su svetlosni putevi jako opterećeni, novi svetlosni putevi moraju biti postavljeni, da bi se obezbedilo dovoljno kapaciteta optičkih linkova. U slučaju jednog ili više kvarova na linku, oštećeni svetlosni putevi se dinamički rekonfigurisu korišćenjem redundantnih puteva arhitekture [5].

Unidirekcionni prsten-PON: FiWi mreža se sastoji od optičkog WDM prstena sa višestrukim jednokanalnim ili multikanalnim PON-om povezanim na njega, kao što je pokazano na Slici 4.



Slika 4. Optički unidirekcionni WDM prsten koji povezuje više PON-ova integrisanih sa WiFi bežičnom mesh mrežom [5]

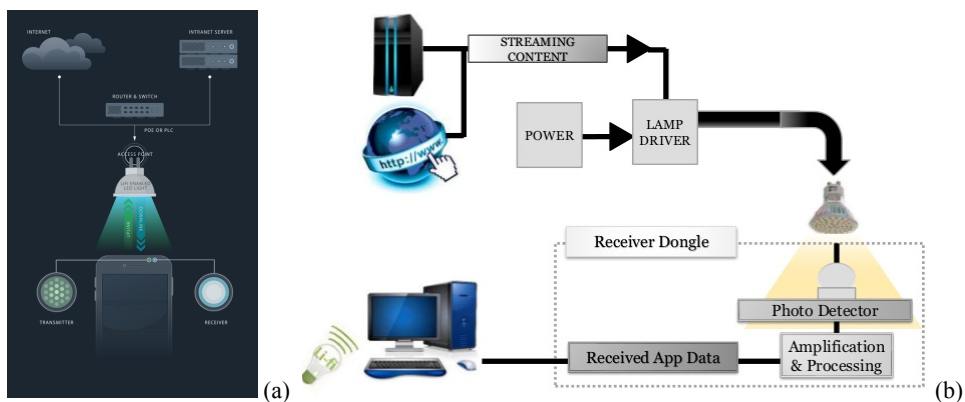
U ovoj arhitekturi optički ADM (OADM) se koristi za povezivanje OLT svakog PON-a na WDM prsten. Bežični gejtveji se koriste za spajanje PON-ova i bežične mesh mreže (WMN - *Wireless Mesh Network*). U *downstream* smeru, paketi podataka se rutiraju od CO do bežičnih gejtvej uređaja kroz optički link i onda se prosleđuju do MCN bežičnim mesh ruterima (WMR - *Wireless Mesh Router*). U *upstream* smeru, bežični mesh ruteri prosleđuju pakete podataka jednom od bežičnih gejtveja, gde se prenose dalje do CO jednim kanalom talasne dužine optičkog WDM prstena, gde svaki PON radi na posebnoj dinamički dodeljenoj talasnoj dužini. Pošto optički link i WMN koriste različite tehnologije, definiše se interfejs između svakog ONU i odgovarajućeg bežičnog gejtveja da bi se pratila WMN i vršilo određivanje rute na osnovu stanja bežičnih linkova i prosečnih brzina saobraćaja. Kada saobraćaj zahteva više od dostupnog kapaciteta PON-a, neki od jednokanalnih PON-ova sa multipleksom na bazi vremenske raspodele (TDM - *Time Division Multiplex*) mogu biti unapređeni u WDM (*Wavelength Division Multiplex*) PON. Ako su neki PON-ovi jako opterećeni, a drugi imaju manje saobraćaja, neki jako opterećeni ONU mogu biti dodeljeni slabo opterećenom PON-u prebacivanjem njihovih

optičkih primopredajnika na talasnu dužinu dodeljenu slabo opterećenom PON-u. Ova arhitektura obezbeđuje ekonomsku efikasnost, efikasnost opsega, široku pokrivenost, visoku fleksibilnost i prilagodljivost. Rekonfigurabilni TDM/WDM optički link pomaže u smanjenju zagušenja mreže i tajnosti prosečnog paketa balansiranjem opterećenja. Dinamička dodela radio resursa obezbeđuje efektivne i jednostavne handovere [5].

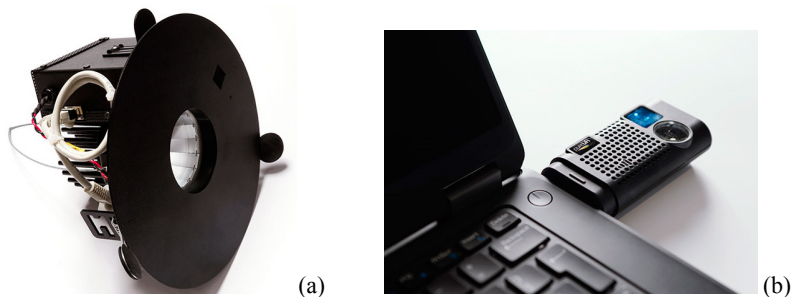
3. LiFi pristupne mreže

LiFi (*Light Fidelity*) bežične pristupne mreže koriste prenos informacija u vidljivom delu spektra, korišćenjem LED dioda [10]. Ideju o LiFi mrežama prvi je zvanično prezentovao prof. Herald Haas, sa Univerziteta u Edinburgu u svom TED talk-predavanju 2011. godine [11]. Međutim, i pre 2011. godine bilo je istraživanja u oblasti LiFi mreža, a prvi patenti u ovoj oblasti su registrovani 2006. godine. Do sada je najviše patenata registrovano u Južnoj Koreji i USA, a od kompanija najveći broj patenata je registrovan od strane Samsung-a [12]. Prvi komercijalni LiFi proizvod predstavila je kompanija PureLifi 2016. godine [13]-[14].

LiFi se bazira na pristupnim tačkama koje pomoću LED dioda obezbeđuju bežični pristup korisnicima u veoma malim oblastima, tzv. atočelijama. Imajući u vidu da se radi o prenosu svetlosti, na strani korisnika je potreban odgovarajući optički prijemnik za prijem signala i optički predajnik za slanje signala. U ovom trenutku, ne postoje integrisana rešenja, gde su optički primopredajnici integrisani u prenosne računare i mobilne uređaje, kako što je slučaj sa WiFi i *Bluetooth* prijemnicima, već se koriste odgovarajući adapteri koji se povezuju na računar preko USB priključka. Na Slici 5 prikazana je tipična struktura LiFi sistema [14]. Idejno rešenje gde je optički primopredajnik na strani korisnika integrisan u korisnički uređaj (u konkretnom slučaju mobilni telefon) prikazano je na Slici 5a, a rešenja sa adapterima na strani korisnika na Slici 5b.



Slika 5. Struktura LiFi sistema: (a) idejno rešenje (b) struktura sa adapterom na strani korisnika [14]



Slika 6. Komponente komercijalnog PureLifi sistema [13]: (a) pristupni modul, (b) korisnički primopredajnik koji se preko USB porta povezuje na računar

Na Slici 6 prikazan je izgled LiFi osvetljenja, tj. pristupne tačke koja omogućava povezivanje 8 do 16 korisnika istovremeno, sa brzinama od 45 Mb/s [13]. Najčešće se u LED pristupnim tačkama koristi multipleksiranje talasnih dužina koje omogućava da se podaci šalju posebno preko crvenog, zelenog i plavog kanala u okviru bele LED diode. Prvi eksperimentalni LiFi sistemi su dostizali brzine od 10 Mb/s, dok se trenutno mogu ostvariti maksimalne brzine od 15 Gb/s [13]. U realnom okruženju, postignute su brzine od 45 Mb/s i za *download* i za *upload*. Poređenja radi, prosečna brzina širokopojsnog pristupa Internetu u USA je 54 Mb/s za *download*, dok mobilni pristup Internetu omogućava 20 Mb/s. *Upload* brzine su značajno manje. Iako je za uspostavljanje LiFi komunikacije potrebna optička vidljivost, neka eksperimentalna istraživanja su pokazala da je i u slučajevima kada ne postoji direktna vidljivost, usled višestrukih refleksija uspostavljena LiFi komunikacija sa prihvatljivim brzinama.

VLC koristi standard IEEE 802.15.7 [15], a trenutno su u toku aktivnosti uključivanja LiFi u ovaj standard. Takođe, oformljene su interesne grupe za rad na IEEE 802.11 standardu u pogledu svetlosnih komunikacija (*IEEE 802.11 Light Communications Topic Interest Group* i *IEEE 802.11 Light Communications Study Group*) [14].

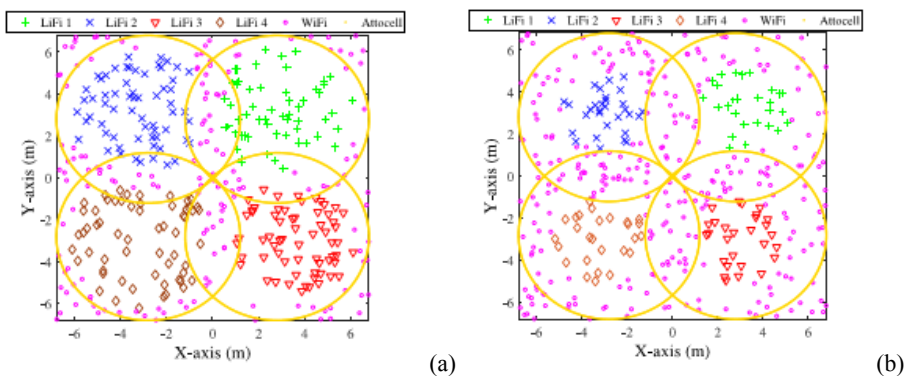
Najznačajnije prednosti LiFi pristupnih mreža su [10]:

- LiFi mreže obezbeđuju veći nivo sigurnosti u odnosu na postojeće bežične pristupne mreže. Naime, kako se svetlost ne može zadržati i ne može prolaziti kroz zidove, LiFi signal može biti obezbeđen u fizičkom prostoru. LiFi tehnologija takođe omogućava dodatnu kontrolu, jer podaci ne mogu biti usmereni sa jednog uređaja na drugi. Korisnici mogu videti gde podaci odlaze.
- Kod LiFi tehnologije nema smetnji kao što je to slučaj kod tehnologija poput WiFi koja je podložna smetnjama od strane kako susednih WiFi mreža tako i od širokog opsega uređaja kao što su telefoni i mikrotalasne pećnice. LiFi signali mogu biti definisani zonom osvetljenja, što znači da je mnogo lakše izbeći, pa čak i zaustaviti smetnje. Ovo takođe znači da LiFi može biti korišćen u zonama osetljivim na RF zračenje kao što su bolnice, elektrane i avioni.
- Imajući u vidu da se kod LiFi sistema smanjuje potreba za podelom bežičnog opsega, LiFi može postići približno 1000 puta veću gustinu podataka nego WiFi, deleći više podataka po metru kvadratnom. Ovo je bitan faktor za bežičnu efikasnost.
- LiFi omogućava upotrebu svetlosti za komunikaciju koristeći postojeću infrastrukturu.

Moguće primene LiFi komunikacija su brojne. Neke od njih su: primene u sistemima obezbeđenja, pametno osvetljenje, primene u bolnicama i sistemima zdravstvene nege, specijalizovane pristupne mreže za preduzeća, sistemi pametnog transporta (uključujući tzv. *veichle-to-veichle* komunikacije), pametne zgrade i pametni gradovi i sl.

4. Hibridne LiFi/WiFi pristupne mreže

LiFi mreže pre svega predstavljaju potencijalnu dopunu drugim bežičnim pristupnim mrežama (npr. WiFi i FiWi). Naime, LiFi mreže mogu dostići veliki protok gustim rasporedom optičkih AP. Ipak, prostorna raspodela podataka varira zbog ko-kanalne interferencije. Da bi se poboljšale performanse sistema i garantovao jednako visok QoS svim korisnicima, može se koristiti dodatni WiFi. Zbog različitog spektra korišćenog kod LiFi i WiFi, nema smetnji među ovim sistemima. Zato, hibridna LiFi/WiFi mreža može postići sumiran protok LiFi i WiFi zasebnih mreža. Prema IEEE 802.11ad standardu, najskoriji WiFi protokol omogućava uređajima da rade na tri centralne frekvencije (2.4, 5 i 60 GHz) i može se postići ukupna brzina prenosa do 7 Gb/s. U isto vreme, skorašnje studije pokazuju da 3 Gb/s može biti postignuto samo sa jednom mikro LED [16], i da je u unutrašnjem prostoru moguće postići do 100 Gb/s sa laserskom diodom kombinovanom sa optičkim difuzorom zarad širokog osvetljenja [17]. Hibridnim LiFi/WiFi sistemom, korisnici na svim mogućim lokacijama u uvećanoj zoni pokrivanja mogu imati koristi od značajno povećanog korisničkog protoka i QoS. WiFi sistem ima koristi od rasterećenja RF spektra zbog prelaska na spektar slobodne svetlosti, dok LiFi ima koristi od pokrivanja slepih mrlja.



Slika 7. Dodela korisnika u hibridnom LiFi/WiFi sistemu: (a) 120 Mb/s, (c) 1Gb/s.

Hibridna LiFi/WiFi mreža se sastoji od bidirekcionih komunikacionih primopredajnika za LiFi i WiFi veze i ima centralnu jedinicu (CU), koja integriše ove dve različite mreže. Svi korisnici hibridne mreže imaju RF antenu i fotodetektor za WiFi i LiFi signale, respektivno. CU nadgleda celu mrežu u kratkom periodu često, i prima povratni signal od korisnika LiFi i WiFi veza. LiFi AP dele isti modulacioni opseg. Zato su korisnici u preklapajućim oblastima LiFi atocelija pod uticajem međukorisničkih smetnji. WiFi AP može pokriti čitavu unutrašnju oblast. Model WiFi kanala je zasnovan

na IEEE 802.11g standardu. Hibridni sistem nudi značajnu korist u pogledu kapaciteta, robusnosti, sigurnosti i pouzdanosti, koji su bitna mera u masovno rastućem internetu u pogledu broja povezanih uređaja i prenesenih podataka. Očekuje se da će IoT (*Internet of Things*) biti jedan od izvora ovog rasta. U hibridnim mrežama potrebno je voditi računa o balansiranju opterećenja [10]. Ilustracije radi, na Slici 7 je prikazana dodela korisnika u slučaju WiFi bitskog protoka od 120 Mb/s (a) i protoka 1 Gb/s (b), za hibridnu mrežu koja se sastoji od jedne WiFi pristupne tačke i četiri LiFi pristupne tačke. Pri manjim brzinama, WiFi mreža uglavnom opslužuje samo korisnike u oblastima gde postoji preklapanje atocelija pojedinih LiFi pristupnih tačaka. Međutim, sa porastom bitskog protoka, povećava se broj korisnika opsluženih WiFi mrežom.

5. Zaključak

FiWi pristupne mreže kombinuju kapacitet novih generacija optičkih pristupnih mreža i bežičnih pristupnih tehnologija u cilju ostvarivanja budućeg širokopoljasnog pristupa, sa krajnjim ciljem fiksno-mobilne konvergencije. Da bi se konvergencija uspešno ostvarila potrebno je da primenjene optičke i bežične tehnologije budu integrisane kako na fizičkom sloju i na sloju podataka, tako i na sloju servisa. Zbog toga su trenutna istraživanja usmerena na integraciju optičkih i bežičnih mreža. Jedan od primera integrisanih WiFi mreža je OFDM tehnologija (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) koja se uspešno primenjuje u bežičnim komunikacijama, ali se tek od nedavno primenjuje u optičkim pristupnim mrežama, ne samo sa ciljem omogućavanja šireg opsega, većeg dometa i manje kompleksnosti, cene i potrošnje samih uređaja, već i da obezbedi konvergenciju različitih širokopoljasnih tehnologija za pristup poput GPON, EPON, WiMAX, LTE, HFC i xDSL [18]. Prilikom izbora tehnologije i arhitekture za optički i bežični deo hibridnih FiWi pristupnih mreža, pored željenih performansi mreže i pokrivenosti, potrebno je voditi računa i o tehno-ekonomskoj isplativosti pojedinih rešenja za razmatrano područje na kome se planira implementacija FiWi mreža.

LiFi tehnologija, predstavlja potencijalno odlično rešenje za sisteme u zatvorenom prostoru u kojima postoji mogućnost velike RF interferencije i sisteme osetljive na RF zračenje, što otvara niz mogućih primena. Međutim, trenutno LiFi nije viđena kao samostalna tehnologija ili zamena za 5G mobilni pristup ili WiFi, već kao dopuna postojećim bežičnim pristupnim tehnologijama u cilju obezbeđenja što većeg opsega krajnjim korisnicima.

Literatura

- [1] P. Golden, H. Dedieu, and K. Jacobsen, *Fundamentals of DSL technology*, Auerbach Publications, Taylor & Francis Group, 2006.
- [2] L. G. Kazovsky, N. Cheng, W.-T. Shaw, D. Gutierrez, and S.-W. Wong, *Broadband Optical Access Networks*, Wiley, 2011.
- [3] B. G. Lee and S. Choi, *Broadband Wireless Access and Local Networks: Mobile WiMAX and WiFi*, Artech House, 2008.
- [4] S. Ahson and M. Ilyas, *WiMAX Applications*, CRC Press, 2008.
- [5] M. Maier and N. Ghazisaidi, *FiWi Access Networks*, Cambridge University Press, 2012.

- [6] M. Maier, Fiber-Wireless (FiWi) Broadband Access Networks in an Age of Convergence: Past, Present, and Future, *Advances in Optics*, vol. 2014, June 2014.
- [7] H. Hrasnica, A. Haidine, and R. Lehnert, *Broadband Powerline Communications - Network Design*, John Wiley and Sons Ltd, 2004.
- [8] H. C. Ferreira, L. Lampe, J. Newbury, and Theo G. Swart, *Power Line Communications: Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Line*, John Wiley and Sons, 2010.
- [9] G. Shen, R. S. Tucker, and C.-J. Chae, „Fixed Mobile Convergence Architectures for Broadband Access: Integration of EPON and WiMAX,“ *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, no. 8, pp. 44–50, August 2007.
- [10] H. Haas, L. Yin, Y. Wang, and C. Chen, “What is LiFi?”, *Journal of Lightwave Technology*, vol. 34, no. 6, pp. 1533 – 1544, March 2016.
- [11] https://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb.
- [12] <https://www.greyb.com/companies-research-lifi-before-harald-haas/>, April 2016.
- [13] <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/telecom/internet/mobile-world-congress-2017-purelifi-debuts-new-lifi-luminaire-and-shares-progress-on-commercial-pilots>, March 2017
- [14] <http://purelifi.com/technology/>
- [15] IEEE Std. 802.15.7-2011, “IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light,” *IEEE Std.*, 2011.
- [16] D. Tsonev, H. Chun, S. Rajbhandari, J. McKendry, S. Videv, E. Gu, M. Haji, S. Watson, A. Kelly, G. Faulkner, M. Dawson, H. Haas, and D. O’Brien, “A 3-Gb/s single-LED OFDM-based wireless VLC link using a gallium nitride μ LED,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 26, no. 7, pp. 637–640, Apr. 2014.
- [17] D. Tsonev, S. Videv, and H. Haas. “Towards a 100 Gb/s visible light wireless access network”. *Optics Express*, vol 23, no. 2, pp. 1627–1637, Jan 2015.
- [18] K. Kanonakis, I. Tomkos, T. Pfeiffer, J. Prat, P. Kourtessis, “ACCORDANCE: A Novel OFDMA-PON Paradigm for Ultra-High Capacity Converged Wireline Wireless Access Networks,” *International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, pp. 1–4, 2010.

Zahvalnica: Istraživanja prikazana u ovom radu podržana su od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja u okviru projekata TR32052.

Abstract: *Growing needs of the end-users for larger amounts of data and for higher data rates create the need of new generations of access networks. In this paper, an overview of the FiWi (Fibre Wireless) and LiFi (Light Fidelity) access networks, as the most recent solutions in the broadband access network development is given. The fundamental characteristics of FiWi and LiFi networks are described and the advantages of their deployment as well as the challenges in development and implementation.*

Keywords: *Broadband access networks, FiWi, LiFi*

FiWi AND LiFi BROADBAND ACCESS NETWORKS

Zlatica Marinković, Miloš Mitić, Nebojša Dončov