

Širokopolasna komunikacija preko elektroenergetske mreže, BB-PLC – G.hn, HomePlug i IEEE 1901

Dejan Nemec

Departman za energetiku, elektroniku i telekomunikacije
Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu
Novi Sad, Srbija
denem@uns.ac.rs

Aljoša Petojević

Smart Digital
Novi Sad, Srbija
aljosa.petojevic@gmail.com

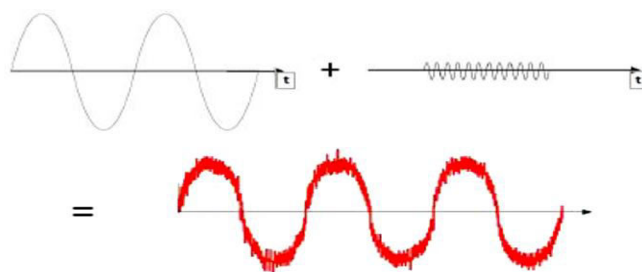
Sažetak – Prenos podataka preko elektroenergetske mreže (PLC) danas se koristi u različite svrhe. Sve češće se pojavljuje kao tehnologija koja omogućava komunikaciju računara u domovima, gde menja Ethernet ili Wi-Fi. U industrijskim sistemima u konceptu *Smart Grid* igra veoma značajnu ulogu, jer omogućava povezivanje električnih brojlara koja šalju podatke ka centru za obradu podataka u cilju uštede električne energije. Postoji više klasa PLC sistema, a ovaj rad se bavi standardima za širokopolasni prenos podataka preko elektroenergetske mreže (BB-PLC). Prikazane su karakteristike G.hn, HomePlug i IEEE 1901 standarda i njihovo poređenje.

Gljučne riječi – BB-PLC; G.hn; HomePlug; IEEE 1901; komunikacija preko energetske mreže.

I. UVOD

PLC (*Power Line Communication*) predstavlja telekomunikacionu tehnologiju koja omogućava prenos podataka preko elektroenergetske mreže. Ova tehnologija omogućava da električni uređaji opremljeni PLC tehnologijom istovremeno mogu slati i primati podatke kroz kablove za napajanje. Postoji više različitih arhitektura koje rade na različitim frekventnim opsezima i sa različitim brzinama prenosa podataka, od 100 bit/s do 2,4 Gbit/s. I ove niske brzine imaju značajnu primenu u praksi, recimo prilikom povezivanja električnih brojlara koja imaju potrebu za pravovremenom razmenom veoma male količine podataka. PLC tehnologija se može koristiti u različitim scenarijima gde postoji potreba za prenosom podataka: u distributivnim elektroenergetskim mrežama (*smart grid*), objektima (npr. HAN – *Home Access Network*), vozilima, plovilima, avionima [1].

PLC signal podataka generiše se kao diferencijalni napon između dva provodnika koji se propagira između predajne strane ka prijemnoj. Kao i ostale telekomunikacione tehnologije koje koriste žični medijum za prenos, podaci koji se šalju preko PLC-a modulišu se i injektiraju u medijum za prenos, a prijemna strana te podatke demoduliše kako bi ih reprodukovala u izvornom obliku. U medijumu postoji signal koji obezbeđuje električnu energiju i signal koji prenosi podatke. Sl. 1 prikazuje princip formiranja signala u medijumu za prenos [1].



Slika 1. Integracija frekvencija mrežnog napona sa PLC signalom [1]

Postoji mnogo tipova PLC sistema koji funkcionišu na raznim frekvencijama i obezbeđuju različite brzine prenosa podataka, te se tako PLC može podeliti na tri klase:

- UNB-PLC (*Ultra NarrowBand PLC*)
- NB-PLC (*NarrowBand PLC*)
- BB-PLC (*BroadBand PLC*)

Tačan spektar koji PLC koristi zavisi od države ili kontinenta gde se koristi. Za teritoriju Evropske Unije za definisanje frekventnih opsega nadležan je CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization*), za Sjedinjene Američke Države FCC (*Federal Communications Commission*), EPRI (*Electric Power Research Institute*) za Kinu i ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*) za Japan [2]. Tab. I prikazuje osnovne karakteristike različitih klasa PLC-a.

TABELA I. KLASA PLC SISTEMA [3]–[6]

PLC klasa	Frekvencijski opseg	Brzina	Domet	Primena	Standard
UNB-PLC	0,3-3 kHz	~100 kbit/s	>150 km	„posl. milja“	TWACS
NB-PLC	3-500 kHz	~500 kbit/s	više km	„posl. milja“	PRIME, G3, ITU-T G.hnem, IEEE P1901.2
BB-PLC	1,8-500 MHz	više Mbit/s do 2,4 Gbit/s	<1500 m	HAN	PRIME, G3, ITU-T G.hnem, HomePlug IEEE P1901.2
UltraBB-PLC	2-20 GHz	~1 Gbit/s	NA	HAN	NA

Nadležne internacionalne i nacionalne regulatorne organizacije prilagodile su ili su u fazi prilagođavanja PLC regulativnih standarda i tehnologija sa fokusom na protoke unutar predefinisanih frekvencija i propusnih opsega, tipova modulacija, načina kodovanja i elektromagnetnih ograničenja.

Ovaj rad daje pregled tehnologija i standarda koje se koriste u BB-PLC. Cilj rada je da se navedu osnovne karakteristike i objasne glavne razlike ovih tehnologija i standarda.

II. TEHNOLOGIJE I STANDARDI ZA BB-PLC

BB-PLC tehnologije rade u frekventijskom opsegu 1,8-500 MHz i karakterišu ih brzine prenosa podataka na fizičkom nivou od nekoliko Mbit/s do nekoliko Gbit/s (trenutno do 2,4 Gbit/s). BB-PLC tehnologije i standarde pokriva nekoliko organizacija kao što su ITU-T (*International Telecommunication Union*), *HomePlug Powerline Alliance*, IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), UPA (*Universal Powerline Association*), OPERA (*Open PLC European Research Alliance*), CEPCA (*Consumer Electronics Powerline Communication Alliance*) [3], [7].

Najveća razlika između standarda pojedinih organizacija uglavnom se svodi na različite metode pristupa deljenom medijumu, različite metode šifrovanja i robusnost prenosa. Korišćeni frekventni opsezi, modulacije i ubacivanje informativnih signala u električnu mrežu su skoro identični u svim standardima [3].

Ovaj rad će se bazirati na sledećim standardima, odnosno tehnologijama:

- G.hn – ITU-T standard.
- *HomePlug* – „zaštitno ime” (*trade name*) PLC tehnologije i standarda razvijenih od strane *HomePlug Powerline Alliance*.
- IEEE 1901 – bazira se na *HomePlug*, ali obezbeđuje interoperabilnost i sa drugim standardima [7], [8].

III. G.HN STANDARD

G.hn je *multi-wire* standard razvijen od strane ITU-T i podržan od strane brojnih organizacija, uključujući *HomeGrid Forum*. Prema poslednjim specifikacijama G.hn omogućava PLC brzine do čak 2,4 Gbit/s i domet do 500 m [9].

G.hn može biti primenjen na četiri tipa prenosnih medijuma: telefonske parice, koaksijalni kabl, plastična optička vlakna i električnu naponsku infrastrukturnu mrežu u objektima. Standard je definisan ITU-T preporukama G.9960 koja se odnosi na fizički nivo i njegovu arhitekturu, i sa G.9961 koja specificira nivo podataka (*Data Link Layer*) i nizom drugih. Pod preporukom G.9963 definiše se MIMO (*Multiple In Multiple Out*) tehnika.

A. Tehničke specifikacije G.hn

G.hn baziran je na brznoj Furijeovoj transformaciji FFT (*Fast Fourier Transform*), OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) modulaciji sa LDPC (*Low Density Parity-Check*) i FEC (*Forward Error Correction*) kodovanjem. Ovaj standard poseduje mehanizme za izbegavanje kolizije i interferencije sa licenciranim amaterskim bandom i ostalim

licenciranim radio servisima, uključujući i mehanizme izbegavanja interferencije sa električnim uređajima u objektima, i sa ostalim žičnim telekomunikacionim tehnologijama prenosa kao što su VDSL2 (*Very-High-Bit-Rate Digital Subscriber Line 2*) ili uopšteno sa svim ostalim tipovima DSL-a.

OFDM tehnika deli signal na više podnosilaca, a svaki podnosilac koristi QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) modulacijom, sa maksimalno podržanom modulacijom od 4096-QAM (12-bit QAM).

MAC (*Media Access Control*) baziran je na TDMA (*Time Division Multiple Access*) arhitekturi u kojoj „domenski master” kontroliše mogućnost pristupa za transmisiju TXOP (*Transmission Opportunities*) jednog ili više uređaja u domenu. Postoje dva tipa TXOP:

- CFTXOP (*Contention-Free Transmission Opportunities*) – postoji tačno određeno vreme aktivnosti dodeljeno specifičnim parovima predajnika i prijemnika. Ovaj tip transmisije se koristi za stvaranje TDMA pristupnog kanala za specifične aplikacije koji zahtevaju garantovanje kvaliteta QoS (*Quality of Service*).
- STXOP (*Shared Transmission Opportunities*) – tip transmisije koji deli kanale za pristup između više uređaja u domenu koji je podeljen na dva tipa vremenskih slotova, TS (*Time Slots*):
 - CTFS (*Contention-Free Time Slots*) se koristi za pristup putem tokena (*token passing channel access*). Serije uzastopnih CTFS se dodeljuju uređajima, koje dodeljuje domenski master i šalje ih kroz mrežu ostalim uređajima. Takav predefinisani sistem specificira koji uređaj može vršiti transmisiju nakon što je prethodni završio sa korišćenjem određenog kanala. Kako na taj način uređaji znaju koji je uređaj sledeći za transmisiju tako nema potrebe da sami uređaji između sebe dele tokene kako bi znali kada im je dozvoljeno korišćenje nekog kanala za komunikaciju. Proces dodeljivanja tokena, uređajima u domenu osigurava da ne dođe do kolizije prilikom korišćenja određenog kanala nekog uređaja sa drugima.
 - CBTS (*Contention-Based Time Slots*) se koristi za stvaranje CSMA/CARP (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance And Resolution Using Priorities*) pristupa kanalu. Generalno CSMA sistemi ne mogu u potpunosti izbeći kolizije, tako da se CBTS koristi samo za aplikacije koje nemaju striktno zahteve za QoS-om. Ovakav pristup je vrlo sličan CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*) pristupu u *Ethernet* mrežama sa razlikom da CSMA/CARP ne pruža mogućnost detektovanja kolizije u mreži.

B. Sigurnosni mehanizmi G.hn

G.hn koristi 128-bitni kriptografski algoritam AES (*Advanced Encryption Standard*) koristeći CCMP (*Counter*

Mode with Cipher Block Chaining Message Authentication Code Protocol) protokol za obezbeđenje integriteta i poverljivosti poruka. Autentifikacija i razmena ključeva odvija se po ITU-T preporuci X.1035.

G.hn specificira *point-to-point* sigurnosne kanale unutar nekog domena, što znači da samo jedan par uređaja unutar nekog domena komunicira koristeći isti kriptografski ključ koji samo oni znaju.

G.hn podržava koncept prosleđivanja, gde neki uređaj može primiti podatke sa nekog perifernog uređaja u mreži i proslediti ga drugom koji je na udaljenijoj lokaciji. *Relaying*, (prosleđivanje) se može koristiti u slučajevima kad postoji više transportnih metoda prenosa podataka i kompleksnih topologija. *Relay*, (prosleđivač) nije u stanju da zna kakve podatke prenosi, on samo zna adresu izvora i destinacije.

IV. HOMEPLUG STANDARD

Naziv *HomePlug* obuhvata različite PLC specifikacije pod tom oznakom, omogućavajući tako interoperabilnost i kompatibilnost uređaja unutar te specifikacije. Različite specifikacije, odnosno različiti proizvođači *HomePlug* uređaja tvrde da mogu da obezbede brzine od 500 Mbit/s do 2 Gbit/s [11].

Neke specifikacije su fokusirane na aplikacije u kućnoj upotrebi za distribuciju IPTV (*Internet Protocol Television*), igranje igrica i Internet konekcije, dok se drugi fokusiraju na *low-power* aplikacije npr. za *Smart Metering* i za *In-home* komunikaciju između električnih uređaja u objektu. Sve *HomePlug* aplikacije su specificirane i nadgledane od strane *HomePlug Powerline Alliance*, koja je i vlasnik zaštitnog imena.

HomePlug Powerline Alliance formirana je 2000. god. a cilj joj bio da izradi standarde za prenos podataka preko postojećih električnih instalacija u objektima između PLC uređaja kao i njihovo povezivanje na Internet. Jedan od velikih izazova bio je kako efikasno smanjiti ili potpuno eliminisati smetnje prisutne u ožičenjima mreže napajanja u objektima. Ovaj problem rešen je povećanjem frekventnog opsega na kojem *HomePlug* uređaji komuniciraju tako da se signal prenosi preko neutralnog nosioca koji je zajednički za sve fazne provodnike u električnoj naponskoj mreži.

Prva specifikacija *HomePlug 1.0* objavljena je 2001. god, a već 2005. godine i *HomePlug AV* (*Audio-Video*) povećavajući protok podataka sa 14 Mbit/s na 200 Mbit/s. *HomePlug Green PHY* specifikacija objavljena 2010. god. namenjena je za *Smart Energy* i *Smart Grid* aplikacije, kompatibilna i interoperabilna je sa *HomePlug AV*, sa mogućnošću manjeg protoka podataka, ali sa manjom cenom i manjom potrošnjom električne energije. U međuvremenu, 2007. god. objavljena je i *HomePlug Command and Control* specifikacija [12].

2010. godine IEEE 1901 i *HomePlug AV* su označeni kao osnovna tehnologija sa FFT-OFDM PHY standardom. *HomePlug Power Alliance* je sertifikaciono telo za IEEE 1901 proizvode.

Tri glavne interoperabilne i kompatibilne specifikacije objavljene pod *HomePlug* jesu:

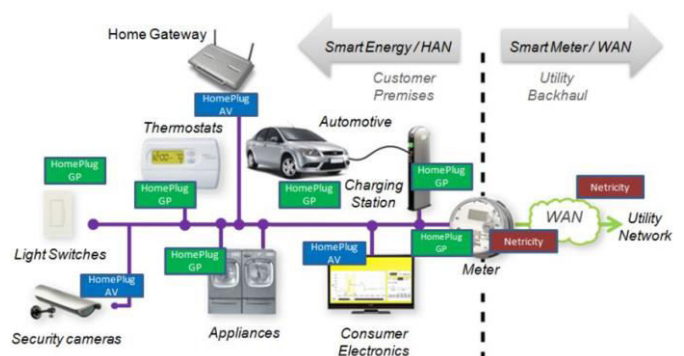
- *HomePlug AV*,
- *HomePlug AV2* i
- *HomePlug Green PHY*.

Najveći proizvođači opreme prema *HomePlug* standardu jesu Broadcom, Qualcomm Atheros, Sigma Designs, Intellon, SPiDCOM i Mstar, a među poznatim gigantima koji su prihvatili ovu tehnologiju jesu: General Motors, Ford, Audi, BMW, Daimler, Porche i Volkswagen kao standard za *Plug-In Electrical Vehicle*. *HomePlug Green PHY* se tako koristi za uspostavljanje komunikacije (standard SAE J1772) za punjače električnih automobila pre nego što se počne punjenje automobilske baterije [13].

Novije verzije *HomePlug* podržavaju *Ethernet* u *Bus* topologiji preko OFDM modulacije koja omogućava da više nosilaca podataka mogu koezistirati u istom medijumu (žici). Takođe OFDM tehnologija može maskirati bilo koji podnosilac koji se preklapa sa nekim radio spektrom u nekom regionu sprečavajući tako interferenciju. Recimo, u Severnoj Americi *HomePlug AV* koristi samo 917 od 1155 podnosilaca [13].

Krajem 2012. god. najviše rasprostranjeni uređaji *HomePlug* specifikacije bili su uređaji za *Ethernet* povezivanje preko mreže električnog napajanja. To su modulske jedinice priključene u zidne ili utičnice na produžnim kablovima (ali ne produžnim kablovima sa prenaponskom zaštitom), ostvarujući tako jedan ili više *Ethernet* priključaka. Neki proizvođači proizvode i uređaje koji u sebi imaju ugrađen *Wi-Fi Access Point* (sa podrškom i IEEE 802.11ac standarda), te se na taj način može znatno poboljšati komunikacija sa bežičnim *Wi-Fi* uređajima u nekom objektu zbog poznatih problema koji nastaju usled neprolaska *Wi-Fi* signala kroz zidove i prepreke za propagaciju signala.

Sl. 2 prikazuje primere kombinovanja *HomePlug* opreme u različitim scenarijima.



Slika 2. HomePlug aplikacije [14]

A. HomePlug 1.0

Prva sertifikovana verzija *HomePlug 1.0* omogućavala je prenos od 14 Mbit/s. Predstavljena je 2001. godine, koju je kasnije zamenio *HomePlug AV*. 2008. godine TIA (*Telecommunication Industry Association*) prihvatila je *HomePlug 1.0* verziju u novi internacionalni standard TIA-1113. Ovaj standard je prvi svetski multi-megabit PLC standard verifikovan od strane ANSI (*American National Standards Institute*) instituta.

B. HomePlug Turbo

HomePlug Turbo (Sl. 3) adapteri proizvedeni su u sledećoj fazi razvoja, u potpunosti su kompatibilni sa HomePlug 1.0 i obezbeđuju brzine prenosa do 85 Mbit/s [15].



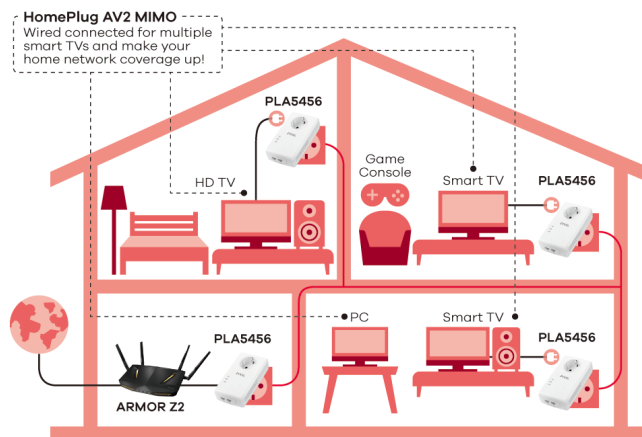
Slika 3. HomePlug Turbo PLC [15]

C. HomePlug AV

HomePlug AV specifikacija predstavljena je 2005. god. i obezbedila je prenos do 200 Mbit/s na fizičkom nivou i oko 80 Mbit/s na MAC nivou za aplikacije koje zahtevaju veću brzinu prenosa kao što su HDTV (*High-Definition Television*) i VoIP (*Voice over Internet Protocol*). HomePlug AV uređaji su kompatibilni sa prethodnim HomePlug verzijama. Fizički nivo koristi OFDM modulaciju sa širinom podnosioca od 24,414 kHz u rasponu frekvencija od 2 do 30 MHz. U zavisnosti od odnosa SNR (*Signal to Noise Ratio*) sistem automatski menja tehnike modulacije signala: BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM i 1024-QAM. Koristeći adaptivnu tehniku od 1155 podnosioca, turbo konvoluciono kodovanje za korekciju greške, *two-level MAC framing* sa ARQ (*Automatic Repeat reQuest*) i druge tehnike, HomePlug AV postiže praktično rezultate veoma blizu teoretskom maksimumu kroz prenosne puteve. Sigurnost se obezbeđuje 128-bitnim AES kriptovanjem. Neki adapteri ove specifikacije postižu brzine prenosa do 500 Mbit/s koristeći širi frekventni spektar.

D. HomePlug AV2

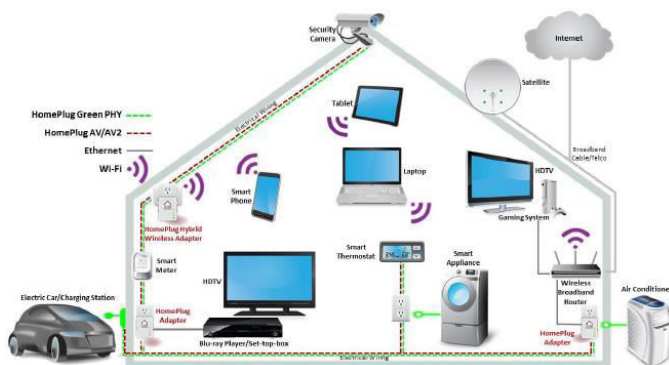
HomePlug AV2 standard predstavljen je 2012. god. i interoperabilan je sa HomePlug AV, HomePlug Green PHY uređajima i sa IEEE 1901 standardom. HomePlug AV2 uređaji pripadaju klasi gigabitnih tehnologija prenosa. Podržava MIMO, sa funkcionalnostima štednje energije. Koristi spektar od 30 do 86 MHz. HomePlug AV2 prva generacija imala je 20% veću propusnu moć od prethodne HomePlug AV 500 i distribuirana je kao HomePlug AV 600. Ove verzije nisu podržavale MIMO. 2014. god. Qualcomm je proizveo čipset koji se ugrađuje u PLC uređaje sa brzinom prenosa od 1,3 Gbit/s na fizičkom nivou, sa prenosom od 550 Mbit/s za UDP (*User Datagram Protocol*) i 500 Mbit/s za TCP (*Transmission Control Protocol*) kao full MIMO. Ova komunikacija koristi neutralnu žicu i žicu uzemljenja za prenos podataka. Kompanija Devolo iz Nemačke poseduje svoj sistem kao poboljšanje ove tehnologije koja se koristi širom sveta, ali samo u objektima koji poseduju i vodove za uzemljenje. Kompanija Zyxel Networks na tržištu nudi proizvode (Sl. 4) koji omogućavaju maksimalne brzine od 1,8 Gbit/s, sa pretpostavkom da se povezuju na dva gigabit Ethernet porta [16].



Slika 4. Zyxel Networks rešenje za PLC maks. brzine 1,8 Gbit/s [16]

E. HomePlug Green PHY

HomePlug Green PHY je podverzija HomePlug AV koja je namenjena za upotrebu u Smart Grid rešenjima sa mogućnošću prenosa do 10 Mbit/s i projektovana je da komunicira sa Smart brojilima i HVAC (*Heating Ventilation and Air Conditioning*) termostata, kućnim električnim aparatima i Plug&Play električnim vozilima, tako da podaci mogu biti deljeni preko HAN ili sa distributerom električne energije. Za ovakve aplikacije nije potreban veći kapacitet za komunikaciju ovakvog tipa. HomePlug Green PHY (Sl. 5) troši manje energije za oko 75% od HomePlug AV. HomePlug Green PHY uređaji su potpuno kompatibilni sa HomePlug AV, HomePlug AV2 i sa IEEE 1901 specifikacijom [13].



Slika 5. HomePlug Green PHY implementacija [17]

Inteligentni kućni aparati u Smart Home-u zahtevaju komunikacioni kanal. Umesto korišćenja različitih tehnologija kao što su Zigbee/Z-Wave, Bluetooth ili WLAN (recimo IEEE 802.11ah) mogu koristiti PLC. Slično kao i ostale HomePlug verzije, HomePlug Green PHY verzija radi na kratkim talasima (2-30 MHz), ali radi na manjim brzinama, 4-10 Mbit/s). Ako je upotreba medijuma (vreme slanja) ograničena na 7% da bi se omogućio pristup drugim PLC sistemima, HomePlug Green PHY specifikacija sa protokom od 250 kbit/s ne opterećuje mrežu, a to je dovoljno za kontrolne funkcije u konceptu IoT (*Internet of Things*) [17].

F. HomePlug Access BPL

HomePlug Access BPL (*Access Broadband PowerLine*) je takozvana *to-the-home broadband* pristupna tehnologija. *HomePlug Alliance* je formirala grupu *HomePlug Access BPL Working Group* sa zadatkom izrade BPL specifikacije. Osnovni zadatak bio je da izrade MRD (*Market Requirements Document*) za *HomePlug Access BPL* specifikaciju. Alijansa je pozvala sve poznate svetske proizvođače u BPL industriji da učestvuju ili da podele svoja iskustva za MRD. MRD je kompletiran 2006. god. Tako je *HomePlug Access BPL* uvršten u IEEE 1901 standard [13], [18].

G. HomePlug sigurnosni mehanizmi

Kako se telekomunikacioni signal može slati van rezidencijalne mreže, *HomePlug* uključuje mogućnost korišćenja kriptovanja putem *password*-a (lozinke). *HomePlug* specifikacija reguliše da svi PLC uređaji moraju biti fabrički setovani sa upotrebom jedinstvenog fabričkog *password*-a, te se korisnicima preporučuje da prilikom instalacije zamene postojeći fabrički *password* na drugi. Ako se *password* ne promeni, napadač može pristupiti njihovoj opremi i može doći do neželjenih posledica.

Mnogi noviji PLC adapteri isporučuju se u paru, jedinstveni sigurnosni ključ je fabrički setovan i nema potrebe za menjanjem sigurnosnog ključa od strane korisnika, osim ako korisnik konfigurise nove adaptore sa nekim koji su prethodno instalirani u telekomunikacionoj mreži. Neki sistemi koriste takozvani *Authentication button*, taster za konektovanje, koji mnogo olakšava uparivanje PLC uređaja.

HomePlug AV standard koristi 128-bitno AES (*Advanced Encryption Standard*) kriptovanje, dok starije verzije koriste slabiji DES (*Data Encryption Standard*) protokol.

Kako *HomePlug* uređaji funkcionišu samo kao bridž za prenos podataka, računari koji koriste bilo koji operativni sistem mogu ostvariti konekciju, ali administracija PLC uređaja može se obaviti samo preko Windows operativnog sistema. Jednom kada je uspostavljena administracija, PLC uređaj može koristiti bilo koji mrežni sistem.

H. Interoperabilnost

HomePlug AV, *HomePlug Green PHY* i *HomePlug AV2* su u potpunosti kompatibilni međusobno kao i sa svim uređajima IEEE 1901 specifikacije. *HomePlug* uređaji nisu kompatibilni sa drugim uređajima PLC tehnologije kao što su UPA (*Universal Power Association*), HD-PLC (*High Definition Power Line Communication*) ili G.hn. U slučaju G.hn procenjeno je da je opcija uklapanja *HomePlug* FEC turbo kodovanja i G.hn LDPC prekomplikovana. U svakom slučaju IEEE 1901 dozvoljava koegzistenciju *HomePlug AV* i HD-PLC kroz ISP (*Inter-System Protocol*), koji podržava takođe i G.hn.

HomePlug uređaji nisu kompatibilni sa nekim električnim kablovskim ožičenjima, prenaponskim zaštitama i UPS filterima koji blokiraju signale visoke frekvencije. U ovim slučajevima PLC uređaji se moraju spajati direktno ili preko zidnih utičnica.

V. IEEE 1901

Standard IEEE 1901-2010 daje specifikaciju za prenos podataka velikim brzinama preko električne mreže, do 500 Mbit/s na fizičkom nivou. Često se naziva BPL (*Broadband over Power Line*). Standard koristi frekvencije ispod 100 MHz. Koristi se za pristup objekta mreži (Internetu) dometa do 1.500 m, kao i za prenos podataka unutar objekta: LAN, *Smart Energy* aplikacije, u vozilima i druge distributivne aplikacije (povezivanje uređaja na manje od 100 m) [19], [20].

IEEE 1901 podrazumeva obaveznu podršku za ISP (*Inter-System Protocol*) protokol koji sprečava interferenciju kada različiti BB-PLC sistemi rade u neposrednoj blizini.

IEEE 1901 je obavezan za pokretanje SAE J1772 punjenje baterija električnih vozila jednosmernom strujom (AC koristi PWM) i jedinog protokola za napajanje za heterogeno umrežavanje IEEE 1905.1. Preporučuje se u standardu IEEE P1909.1 za inteligentne mreže (*Smart Grid*) jer su oni prvenstveno za kontrolu uređaja naizmenične struje, koji po definiciji uvek imaju priključke za napajanje naizmeničnom strujom, tako da nisu potrebne dodatne veze.

IEEE 1901-2010 inoviran je standardom IEEE 1901-2020 koji ima isti integralni naziv [19], [21]. Uvedene su nove tehnike modulacije za brzu komunikaciju. Unapređuje izbegavanje interferencije više BPL uređaja na istom medijumu. Standard IEEE 1901-2020 predstavlja i minimum zahteva za izbegavanje interferencije, dok potpuna implementacija obezbeđuje interoperabilnost među BPL uređajima, kao i interoperabilnost sa nekim drugim mrežnim protokolima. Namera ovog standarda je da se nametne kao robustan standard koji će učiniti da PLC aplikacije imaju značajniji deo na tržištu. Standard je takođe usklađen sa granicama elektromagnetne kompatibilnosti (EMC) koje su postavili nacionalni regulatori, kako bi se omogućila uspešna koegzistencija sa bežičnim i telekomunikacionim sistemima [21].

VI. ZAKLJUČAK

Postoji više specifikacija protokola koji se odnose na BB-PLC i one su svrstane u različite standarde. BB-PLC sistemi rade na višim frekventim opsezima, do 500 MHz, sa mogućnošću prenosa i do 2,4 Gbit/s. Koriste se uglavnom za komunikacije unutar objekta, gde mogu da zamene *Ethernet* i Wi-Fi, ali se nekad koriste i kao pristupna tehnologija (dometa do 1,5 km). Velika prednost ovih sistema jeste činjenica da ne zahtevaju dodatno postavljanje kablova u objektu, a sa druge strane ne uzrokuju zračenje elektromagnetnih talasa u neposrednoj čovekovo sredini. G.hn, *HomePlug* i IEEE 1901 standardi rešavaju većinu problema koji se mogu desiti prilikom prenosa podataka preko postojeće elektroenergetske mreže u objektu ili strujnog kabla koji dolazi do objekta. Neke tehnologije su međusobno kompatibilne, sa naglaskom da G.hn i *HomePlug* nisu, te treba voditi računa da se ne instaliraju različiti sistemi u istim sredinama. BB-PLC sistemi su u novije vreme postali deo uobičajene ponude provajdera Internet servisa u cilju povezivanja različitih delova objekta (udaljenje prostorije, različiti spratovi i slično). Uvek je vredno razmotriti i BB-PLC tehnologiju prilikom potrage za rešenjima za povezivanje kućnih uređaja od kojih su neki danas prilično zahtevni po pitanju brzine.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Departmana za energetiku elektroniku i telekomunikacije, u okviru realizacije projekta pod nazivom: „Razvoj i primena savremenih metoda u nastavi i istraživačkim aktivnostima na Departmanu za energetiku, elektroniku i telekomunikacije”.

LITERATURA

- [1] Aljoša Petojević, Dejan Nemec, „PLC (Power Line Communication) – perspektiva, pravni okvir i način funkcionisanja”, 17. Međunarodni simpozijum INFOTEH-JAHORINA, 21-23 Mart 2018.
- [2] Aljoša Petojević, Dejan Nemec, „Standardi za uskopojasnu komunikaciju preko elektroenergetske mreže – NB-PLC”, 18. Međunarodni simpozijum INFOTEH-JAHORINA, 20-22 Mart 2019.
- [3] Mlýnek, P.; Ruzs, M.; Beneš, L.; Sláček, J.; Musil, P. “Possibilities of Broadband Power Line Communications for Smart Home and Smart Building Applications”, *Sensors* 2021, 21, 240. <https://doi.org/10.3390/s21010240>
- [4] H. C. Ferreira, L. Lampe, J. Newbury, T. G. Swart, “Power Line Communications – Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Line”, John Wiley & Sons Ltd, 2010.
- [5] Markus Rindchen: “An Overview on Global Powerline Standards and European EMC Certification”, Ninth Workshop On Power Line Communications, Klagenfurt, 2015
- [6] Broadband over power lines, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Broadband_over_power_lines#Standards, januar 2022.
- [7] Lou Frenzel, “What’s The Difference Between HomePlug And G.hn?” *Electronic Design*, 2013.
- [8] Haniph A. Latchman, Srinivas Katar, Larry Yonge, Sherman Gavette, “Homeplug AV and IEEE 1901: A Handbook for PLC Designers and Users”, Wiley-IEEE Press, 2013.
- [9] Devolo, G.hn, <https://www.devolo.global/technologies/ghn>, januar 2022.
- [10] G.hn, <https://en.wikipedia.org/wiki/G.hn>, januar 2022
- [11] Simon Jary, “What is Powerline?”, *Tech Advisor from IDG*, December 2019.
- [12] HomePlug Powerline Alliance, https://en.wikipedia.org/wiki/HomePlug_Powerline_Alliance, januar 2022.
- [13] HomePlug, <https://en.wikipedia.org/wiki/HomePlug>, januar 2022.
- [14] Mistral, Power Line Communication: Powering Video Surveillance Infrastructure, <https://www.mistralsolutions.com/articles/power-line-communication-powering-video-surveillance-infrastructure/>, januar 2022.
- [15] Alex Kidman, “NetComm NP285 Turbo HomePlug Ethernet review”, CNET, 2006.
- [16] Zyxel Networks, 2000 Mbps HomePlug AV2 Powerline Pass-Thru 2-Port Gigabit Ethernet Adapter https://www.zyxel.com/products_services/2000-Mbps-HomePlug-AV2-Powerline-Pass-Thru-2-Port-Gigabit-Ethernet-Adapter-PLA5456/overview, januar 2022.
- [17] Raj Jain, “Data-Link Layer and Management Protocols for IoT”, Washington University in Saint Louis, 2018.
- [18] <https://www.ipcf.org/sector/bpl/broadband-over-powerline.html>, januar 2022.
- [19] IEEE Std 1901-2010, “IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications”, IEEE-SA Standards Board, 2010.
- [20] IEEE 1901, https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_1901#cite_note-ITU-7, januar 2022.
- [21] IEEE Std 1901-2020, “IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications”, IEEE-SA Standards Board, 2021.

ABSTRACT

Data transmission over power line is used for various purposes. It increasingly appears as a technology that allows computers to communicate in homes, where they change Ethernet or Wi-Fi. In industrial systems, the Smart Grid concept plays a very important role because it enables the connection of electric meters that send data to the data center in order to save electricity. There are several classes of PLC systems, and this paper deals with standards for broadband data transmission over the electricity network (BB-PLC). The characteristics of G.hn, HomePlug i IEEE 1901 standards and their comparison is given.

Broadband Power Line Communication Standards, BB-PLC – G.hn, HomePlug and IEEE 1901
Aljoša Petojević, Dejan Nemec