

Melita Kardum, mag.ing.el.
HEP Operator distribucijskog sustava d.o.o.
melita.kardum@hep.hr

NAPREDNO MJERENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE OPISANO KROZ KORIŠTENJE I USPOREDBU G3-PLC I NB-IoT KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA

SAŽETAK

Svrha ovog referata je detaljno opisati i usporediti G3-PLC i NB-IoT komunikacijske tehnologije naprednog mjerenja.

G3-PLC je komunikacijska tehnologija koja koristi električne vodove za prijenos informacijskih signala. U ovom radu su dane tehničke specifikacije tehnologije te podjela s obzirom na vrstu prijenosa podataka, brzinu komunikacije i primjene. Opisani su frekvencijski pojasevi rezervirani za pametne mreže s posebnim naglaskom na G3-PLC. Također je prikazana i opisana mrežna topologija odnosno integracija G3-PLC-a unutar Ethernet mreže.

NB-IoT je uskopojasna tehnologija minimalne potrošnje snage iskoristiva za aplikacije koje komuniciraju malom količinom podataka za duže vremenske periode. U referatu su navedene osnovne tehničke specifikacije tehnologije te je opisana podjela LTE spektra kojeg NB-IoT upotrebljava. Detaljno je analiziran i prikaz licenciranih i nelicenciranih tehnologija korištenih za IoT aplikacije.

Ključne riječi: električna energija, napredno mjerenje, komunikacija, G3-PLC, NB-IoT

ELECTRIC ENERGY ADVANCED MEASUREMENT DESCRIBED THROUGH THE USE AND COMPARISON OF G3-PLC AND NB- IoT COMMUNICATION TECHNOLOGIES

SUMMARY

The purpose of this paper is to describe and compare in detail advanced metering G3-PLC and NB-IoT communication technologies.

G3-PLC is a communication technology that uses power lines to transmit information signals. There are technical specifications of the technology given in this paper as well as classification by the type of data transfer, the speed of communication and applications. Frequency bands reserved for smart networks with special emphasis on the G3-PLC and network topology or the G3-PLC integration within the Ethernet network are also presented and described.

NB-IoT is a broadband, low power consumption technology that can be used for applications that communicate with a small amount of data for longer periods of time. There are technical specifications of the technology given in the report as well as classification of the LTE spectrum used by NB-IoT. There is also detailed analysis of licensed and unlicensed technologies for IoT applications.

Key words: electric energy, advanced measurement, communication, G3-PLC, NB-IoT

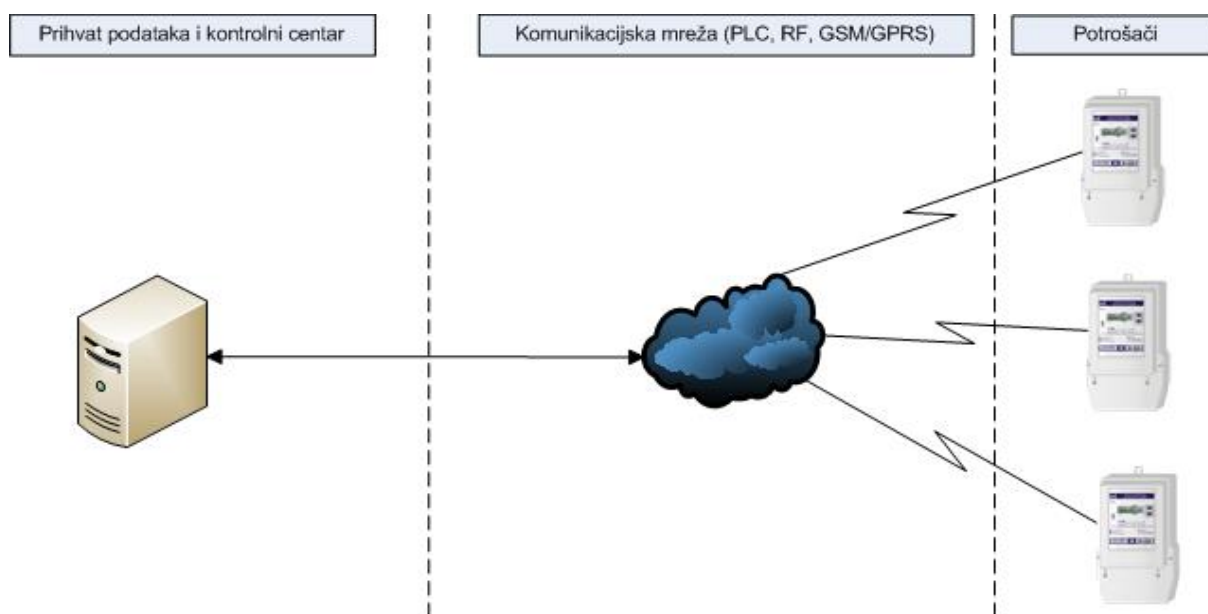
1. UVOD

1.1. Komunikacijske tehnologije naprednog mjerenja

Automatsko očitavanje brojila (engl. AMR - Automatic Meter Reading) je tehnologija automatskog prikupljanja podataka o potrošnji i statusu brojila električne energije, plinomjera, vodomjera i kalorimetara. Podaci se upisuju u centralnu bazu podataka za daljnju analizu i naplatu.

Napredna mjerna infrastruktura (engl. AMI - Advanced Meter Infrastructure) omogućuje dvosmjernu komunikaciju, daljinsko očitavanje te upravljanje mjernim uređajima (parametriranje, uključivanje/isključivanje, sinhronizacija sata i datuma). Napredna mjerna infrastruktura (AMI) je sustav koji mjeri, prikuplja i analizira eksploataciju energije komunicirajući sa mjernim uređajem kao što je električno brojilo, plinomjer, vodomjer i kalorimetar, bilo na zahtjev ili prema rasporedu (redovno očitavanje).

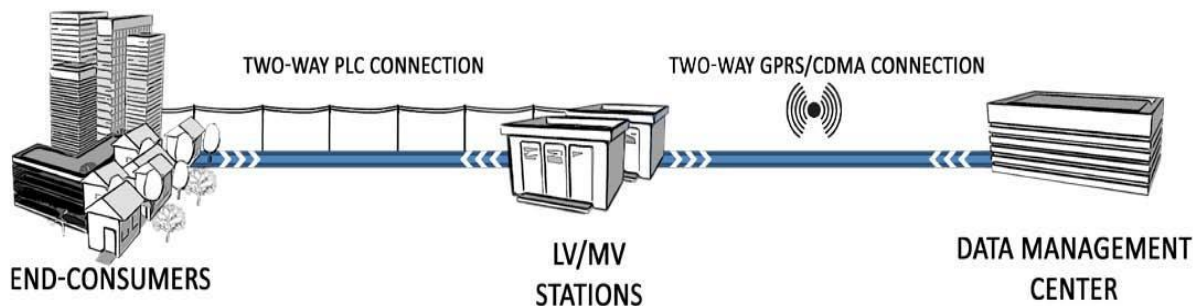
Svaki AMI sustav možemo podijeliti u tri osnovne cjeline (Slika 1.). Jednu cjelinu čine brojila energije i komunikacijski moduli (hardverski elementi sustava). Drugu cjelinu čini komunikacijska mreža (javna preko mobilnih i fiksnih operatera, privatna infrastruktura). Treću cjelinu čini softver za očitavanje, odnosno kompletan centar za upravljanje cijelim sustavom. Svaka cjelina je u potpunosti neovisna i funkcionira potpuno samostalno.



Slika 1. Glavne cjeline AMI sustava

Komunikacijske tehnologije naprednog mjerenja su tehnologije dvosmjerne komunikacije koje se koriste za prijenos i razmjenu obračunskih i energetske mjernih podataka (stanja radne i jalove energije, vršne snage i krivulje opterećenja) između brojila ugrađenih na obračunskim mjernim mjestima i koncentrata ugrađenog u transformatorskoj stanici.

Komunikacija između brojila i koncentrata u trafostanici odvija se posredstvom komunikacijskih protokola putem energetske mreže, a komunikacija između koncentrata i centralnog sustava daljinskog očitavanja posredstvom GSM/GPRS mreže (Slika 2.).



Slika 2. Shema prijenosa podataka naprednog mjernog sustava

1.2. Pogodnosti tehnologije naprednog mjerenja

Pogodnosti koje omogućuje primjena naprednih mjernih sustava su:

- 1) kraće vrijeme prikupljanja mjernih podataka,
- 2) bolja točnost očitanih mjernih podataka (nema više procjene očitavanja),
- 3) poboljšani sustav naplate,
- 4) brža kontrola prekoračenja priključne snage,
- 5) daljinsko uključanje/isključanje kod teško dostupnih obračunskih mjernih mjesta,
- 6) povećanje pouzdanosti napajanja električnom energijom,
- 7) sigurna podatkovna komunikacija i zaštita privatnosti,
- 8) sprječavanje i otkrivanje prijevara i neovlaštenog korištenja energije,
- 9) povećanje uloge kupaca u upravljanju potrošnjom,
- 10) smanjeni troškovi ispravljanja pogrešaka,
- 11) poboljšanje energetske efikasnosti i poticanje racionalnog korištenja energije u skladu sa europskim ciljem „20/20/20“ (20% više obnovljivih izvora, 20% manje emisije CO₂ i 20% povećanje efikasnosti).

2. OPIS, SPECIFIKACIJA I USPOREDBA G3-PLC I NB-IoT TEHNOLOGIJA

2.1. G3-PLC

PLC (engl. Power Line Communication) je komunikacijska tehnologija koja koristi električne vodove za prijenos informacijskih signala.

Najveća prednost korištenja elektroenergetske mreže u komunikacijske svrhe jest rasprostranjenost. Infrastruktura elektroenergetske mreže gušća je od bilo koje druge komunikacijske mreže. Za razliku od telekomunikacijske mreže koja dobro pokriva samo razvijene zemlje, elektroenergetska mreža pokriva gotovo sva naseljena područja na svim kontinentima. Procjenjuje se da dopire do 95% svjetskog stanovništva.

Najveći nedostatak je u tome što je elektroenergetska mreža projektirana za prijenos električne energije. Za razliku od vodova predviđenih za prijenos informacija, nije zaštićena od elektromagnetskog zračenja. PLC uređaji generiraju visokofrekvencijske signale i injektiraju ih u distribucijsku mrežu ili u kućne instalacije. Zbog toga se mogu pojaviti problemi interferencije s drugim uređajima priključenim na tu mrežu. Mogu se javiti i problemi utjecaja na druge sustave zbog zračenja elektromagnetskih valova s

vodiča pobuđenih visokofrekvencijskim signalima. Zato energetske vodove za visokofrekvencijske signale predstavljaju otvoren medij s kojega dosta energije ide u okolni prostor zračenjem.

PLC se pojavljuje ubrzo nakon što je električno napajanje postalo širokopojasno. Ima mnoge prednosti za bežičnu vezu, ali kvaliteta veze i dalje ovisi o kvaliteti domaćeg elektroenergetskog sustava.

S obzirom na brzinu komunikacije i primjene podjela je sljedeća:

- uskopojasni PLC - brzina prijenosa informacija reda veličine do stotinjak kbit/s u frekvencijskom području 3 - 490 kHz:
 - uskopojasni in-house (automatizacija domova i poslovnih zgrada: automatizacija regulacije grijanja i klima uređaja, regulacije osvjetljenja u sobama, osiguranje, alarmiranje i dr., interfon),
 - uskopojasni outdoor (automatsko očitavanje brojila, daljinski nadzor i kontrola proizvodnje i potrošnje električne energije, dinamičko tarifiranje, kontrola udaljenih uređaja (ulične rasvjete)).
- širokopojasni PLC - brzina prijenosa informacija reda veličine Mbit/s na frekvencijama 2 - 30 MHz (i više):
 - širokopojasni in-house (kućne PLC usluge: upravljanje kućanskim aparatima, sigurnost – alarmni sistemi, kućna njega, automatizacija doma, zabava, štednja energije),
 - širokopojasni preko Power-Line-a (širokopojasni pristup Internetu, govorna komunikacija – VoIP, Video on Demand – VoD – distribucija video sadržaja preko širokopojasnih IP mreža na zahtjev korisnika i u vrijeme koje korisnik odredi, Internet Protocol Television – IPTV – distribucija TV programa u stvarnom vremenu korištenjem širokopojasnih IP mreža).

Kod PLC-a moguće su dvije vrste prijenosa podataka: jednosmjerni i dvosmjerni prijenos. U jednosmjernom prijenosu čitanje ide od krajnjih uređaja (brojila) preko komunikacijske infrastrukture na glavnu stanicu koja objavljuje mjerenja. U dvosmjernom prijenosu naredbe se emitiraju iz glavne stanice do krajnjih uređaja (brojila) što omogućava preustroj mreže, dobivanje očitavanja ili prenošenje poruke; to je vrsta prijenosa koja omogućava komunikacijskom sustavu da istovremeno dohvati tisuće uređaja.

G3-PLC je uskopojasni PLC i dvosmjerni komunikacijski standard koji koristi niže frekvencije nositelja i sporije brzine prijenosa kako bi osigurao duži doseg i pouzdaniju uslugu.

G3-PLC definiraju četiri načina prijenosa podataka (ROBO, DBPSK, DQPSK i D8PSK) koje karakteriziraju različite performanse u pogledu brzine i robusnosti prijenosa podataka. Ove izvedbe prijenosa također se odnose i na uporabu pojase širine.

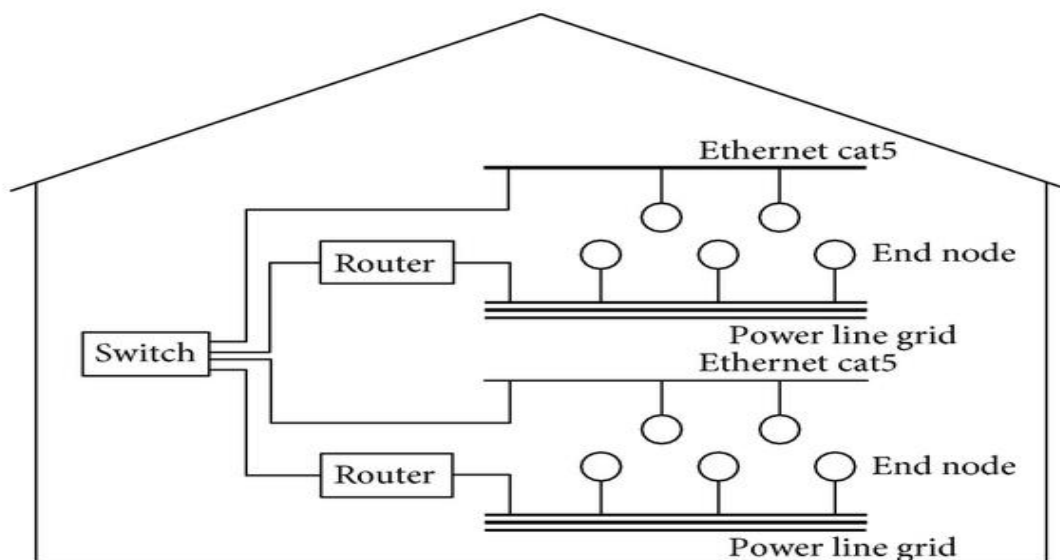
Jedna od najvećih prepreka širokoj primjeni PLC tehnologije je spor razvoj međunarodnih normi i standarda te razlika u standardizaciji u svijetu. Najvažniji parametri standarda su najveća dopuštena snaga prijenosa i dopušteni frekvencijski pojas kako bi se ograničila interferencija s drugim telekomunikacijskim uslugama i spriječilo prekomjerno zagađivanje energetske mreže.

Postoji nekoliko frekvencijskih pojava rezerviranih za pametne mreže, uključujući:

- 1) CENELEC-A pojas (3 - 95 kHz), isključivo rezerviran za distribucijsku djelatnost,
- 2) CENELEC-B (95 - 125 kHz), C (125 - 140 kHz) i D (140 - 148,5 kHz) pojas, namijenjen za potrebe krajnjih korisnika,
- 3) FCC pojas (10 - 490 kHz), koji još nije reguliran u Europi.

G3-PLC omogućuje brži i troškovno učinkovit prijenos podataka preko postojećih vodova: veća količina podataka može se prenijeti preko električnih mreža na niskoj frekvenciji preko CENELEC-A pojasa u Europi, ali se može proširiti i preko cijelog FCC pojasa kako bi se postigla veća brzina prijenosa podataka u sustavu drugih zemalja. Kod G3-a efektivna brzina prijenosa podataka je 20 - 40 kb/s u CENELEC-A pojasu i do 200 - 400 kb/s u FCC pojasu (G3-FCC) [1]. Uži frekvencijski spektar kod CENELEC pojasa smanjuje kapacitet komunikacijskog kanala i brzinu prijenosa podatka. Uz to je i veća vjerojatnost da se zbog šumova i slabljenja signala dodatno smanji brzina ili čak u potpunosti prekine prijenos podataka. FCC pojas podržava povećane brzine prijenosa podataka i osigurava pokrivenost do 5 dB.

Na slici 3. prikazana je mrežna topologija, odnosno integracija G3-PLC tehnologije unutar Ethernet mreže. Glavna korist koja proizlazi iz korištenja takve topologije je njezina sposobnost da bude skalabilna, proširiva i pouzdana. Konvergencija Ethernet-a i G3-PLC-a može se dobiti kroz definiciju zajedničkog sloja koji pruža interkonektivnost među heterogenim nižim slojevima. Konvergencija mreže postiže se definiranjem različitih mrežnih uređaja, odnosno krajnjih čvorova (end nodes), usmjerivača (routers) i prekidača (switches).



Slika 3. Mrežna topologija (integracija G3-PLC tehnologije unutar Ethernet mreže)

Krajnji čvorovi (end nodes) predstavljaju mrežne uređaje koji izravno stupaju u interakciju s okolinom, na primjer, senzorima, aktuatorima, prekidačima, brojilima. Ti su čvorovi grupirani u podmreže prema istoj komunikacijskoj tehnologiji, to jest, G3-PLC-u.

Usmjerivač (router) je mrežni uređaj koji grupira G3-PLC čvorove u podmrežu i integrira podmrežu s ostatkom Ethernet mreže. Dotičnom podmrežom može se upravljati s dva (ili više) routera kako bi se osigurala pouzdanija komunikacija na oštrim kanalima električne energije ili kako bi se povećala mrežna pokrivenost. Router nudi mrežne adaptore prema Ethernet-u i G3-PLC-u. Osim mrežnih adaptera, router ima modul usmjeravanja koji je odgovoran za prevođenje i prosljeđivanje paketa s jednog mrežnog adaptera na drugi i obrnuto: ovaj modul je odgovoran za međusobnu povezanost između Ethernet-a i G3-PLC-a. Nadalje, kako bi se spriječile petlje, router je u stanju prepoznati i odbaciti pakete izravno pristigle iz drugih routera.

Prekidač (switch) je poznati mrežni uređaj. Namijenjen je kako bi radio bez problema s routerima te je, jednako kao i router, u mogućnosti spriječiti paketne petlje. Isto tako, od trenutka ažuriranja kvalitete veze, prekidač može dinamički upravljati promjenama mreže. Kombinacija procesa routera i prekidača omogućuje integraciju heterogenih komunikacijskih tehnologija koje vode do konvergentne mreže.

Napokon, integracija G3-PLC-a s Ethernet-om jednostavno omogućuje integraciju G3-PLC tehnologije u IP mreže. G3-PLC uređaji pokazuju slabu učinkovitost prilikom rada na velikim kućnim/unutarnjim PLC mrežama čije veze mogu biti jako prigušene. Konvergentna mreža, koja se sastoji od Ethernet i G3-PLC uređaja, može se, pomoću routera i preklopnih čvorova, upotrebljavati za rješavanje ovog problema.

G3-PLC dvosmjerna komunikacijska tehnologija pruža operatorima električne energije inteligentne mogućnosti nadzora i upravljanja kako bi optimalno iskoristili postojeće resurse i neprimjetno integrirali nove, obnovljive resurse prikupljene energije.

Zauzvrat, potrošači će imati vidljivost u realnom vremenu u potrošnji električne energije, čime će se promicati očuvanje na strani potražnje.

G3 smanjuje troškove infrastrukture u usporedbi s ostalim arhitekturama žične i bežične komunikacije. Komunicirajući na samoj energetskej infrastrukturi na kojoj mjeri i kontrolira, izbjegava

potrebu stvaranja novih komunikacijskih puteva kroz prepreke poput zgrada, brda i podruma koji blokiraju bežične komunikacije.

G3-PLC je podržan je od velikih IC kreatora i proizvođača opreme, a to su: Enexis, STMicroelectronics, Texas Instruments, Cisco, ERDF Maxim.

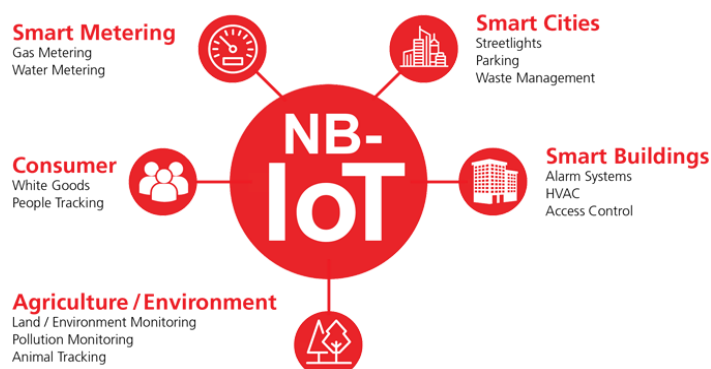
U tablici I. su dane neke od tehničkih specifikacija G3-PLC komunikacijske tehnologije:

Tablica I. Tehničke specifikacije G3-PLC [1]

frekvencijski pojas	35-91 kHz
OFDM modulacijska tehnika	400 kHz
broj nositelja	36
max. brzina prijenosa podataka	33,4 kb/s

2.2. NB-IoT (engl. Narrowband – Internet of Things)

NB-IoT komunikacijska tehnologija je LPWA (engl. Low Power Wide Area) tehnologija za aplikacije koje komuniciraju malom količinom podataka za duže vremenske periode. Karakterizira je niska brzina, veliki prijenos podataka i prikladna razina pouzdanosti. NB-IoT je razvijen kako bi se omogućilo spajanje mnogo uređaja i usluga preko mobilnih telekomunikacijskih pojaseva (Slika 4.).



Slika 4. NB-IoT – spajanje mnogo uređaja i usluga

Prednosti NB-IoT-a u odnosu na druge tehnologije su unutarnja pokrivenost, niski troškovi i dugo trajanje baterije. Korištenje ove tehnologije dovodi do smanjenja troškova generiranih iz ručnog očitavanja brojila, a izvrsna pokrivenost rješava problem brojila u podrumima ili udaljenim ruralnim područjima.

NB-IoT povezuje mnogo uređaja raširenih na velika geografska područja uz minimalnu potrošnju snage i potrebu za zamjenom baterije čije trajanje ovisi o tome koliko često se prenose podaci mjerenja. Podržava više od 50.000 spajanja, trajanje baterije je do 10 godina i ostvaruje pokrivenost od 20 dB više nego GSM mreža. Pouzdana komunikacija se ostvaruje u doseg do 35 km. Maksimalna brzina prijenosa podataka je 2 - 170 kb/s (Downlink) i 0,6 - 250 kb/s (Uplink). Ovu komunikacijsku tehnologiju istražuje Huawei u suradnji s Vodafoneom.

NB-IoT tehnologija je dizajnirana za postizanje izvrsne koegzistencije s nasljeđenim GSM, GPRS i LTE tehnologijama. Zauzima frekvencijski pojas od 180 kHz što odgovara jednom bloku resursa u LTE prijenosu. U okviru tog frekvencijskog pojasa NB-IoT upotrebljava licencirani LTE spektar prema slijedećoj podjeli [2]: (Slika 5.):

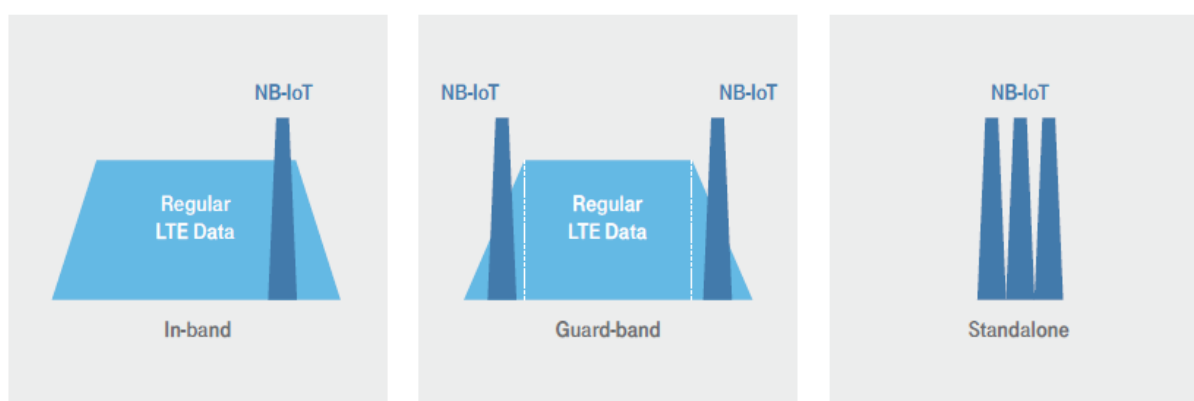
- Stand-alone koji upotrebljava trenutno korištene GSM frekvencije. S njihovom pojasnom širinom od 200 kHz, još uvijek postoji zaštitni interval od 10 kHz preostao na obje strane

spektra. Ova se opcija koristi kada se LTE distribuira u višem pojasu, a GSM je još uvijek u upotrebi, pružajući pokrivenost osnovnim uslugama.

- Guard-band koji koristi neiskorištene blokove resursa unutar LTE nositelja. To je osobito prikladno za alokacije spektra koji ne odgovaraju skupu propusnosti LTE sustava, ostavljajući praznine neiskorištenog spektra pored LTE nositelja.
- In-band koji koristi blokove resursa unutar LTE nositelja. Moguće je da jedan NB-IoT nositelj podijeli resurse s postojećim LTE nositeljem. In-band implementacija omogućuje vrlo fleksibilne scenarije migracije. Na primjer, ako se NB-IoT usluga prvi put implementira kao stand-alone implementacija u GSM pojasu, može se kasnije migrirati na in-band implementaciju ako se GSM spektar ponovno upotrebljava za LTE, čime se izbjegava bilo kakva fragmentacija LTE nositelja.

Kod stand-alone spektra GSM nositelji su samo prikazani kao primjer kako bi se ukazalo na to da je ovo moguća implementacija NB-IoT-a. Stand-alone također funkcionira i bez susjednih GSM nositelja.

NB-IoT je dizajniran da bude čvrsto integriran i u suradnji s LTE, koji pruža veliku fleksibilnost implementacije. Dakle, NB-IoT ima za cilj ponuditi fleksibilnost implementacije koja omogućuje operatoru uvođenje NB-IoT - a pomoću malog dijela već postojećeg dostupnog spektra.



Slika 5. Spektri kod NB-IoT tehnologije

U usporedbi s tehnologijama koje upotrebljavaju nelicencirani spektar, NB-IoT je u mogućnosti znatno smanjiti problem interferencije.

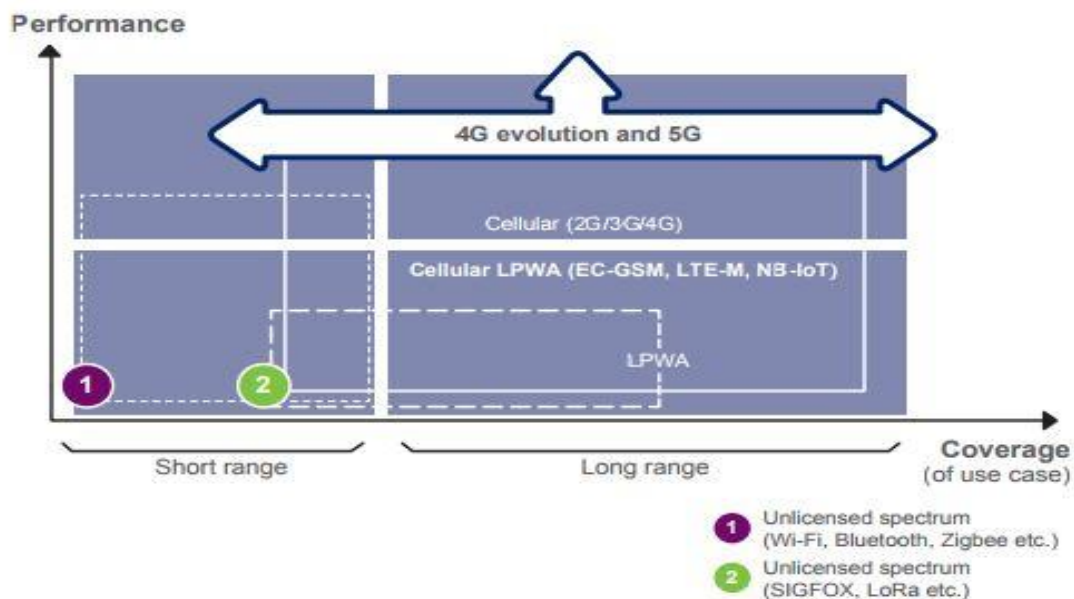
Mnogi će IoT uređaji koristiti radio tehnologije koje rade na nelicenciranom spektru i namijenjene su za kratkopojasno povezivanje. Trenutno postoje dva alternativna skupa za povezivanje za mnoge IoT aplikacije koje ovise o širokopojasnom području: (Slika 6.) [3]:

- *mobilne tehnologije poput GSM, LTE i buduće 5G*

Ove tehnologije rade na licenciranom spektru i povijesno imaju prvenstveno ciljanu kvalitetnu mobilnu glasovnu i podatkovnu uslugu. Sada se, međutim, one brzo razvijaju s novom funkcionalnošću i novom pristupnom tehnologijom uskopoasnog IoT- a koji je posebno prilagođen da formira atraktivno rješenje za nove aplikacije širokog spektra niskog napona (LPWA).

- *nelicencirani LPWA koji podrazumijeva nove radio tehnologije*

Ove tehnologije primjerice SIGFOX i LoRa, su razvijene i dizajnirane isključivo za aplikacije koje se bave segmentom senzora s vrlo ograničenim zahtjevima za propusnost i pouzdanost.



Slika 6. Prikaz licenciranih i nelicenciranih tehnologija korištenih za IoT aplikacije

Licencirane tehnologije već dominiraju korištenjem slučajeva s velikim geografskim zahtjevima pokrivanja i zahtjevima srednje visokih performansi. S novim setovima značajki posebno prilagođenih za aplikacije LPWA IoT- a, licencirane tehnologije poduzimaju veliki korak naprijed kako bi pokrivala segmente s niskim troškovima i zahtjevima niskih performansi.

Omogućene novim softverom u postojećim naslijeđenim mrežama, mobilne mreže mogu podržati raznolik raspon primjene IoT aplikacija. Novi smanjeni NB-IoT i LTE čipovi dizajnirani za značajke koje poboljšavaju pokrivenost i trajanje baterije uređaja povećat će sposobnost LTE infrastrukture za adresiranje IoT tržišta. Bilo da operatori odaberu GSM, NB-IoT ili LTE - ili njihovu kombinaciju - ovisit će o nekoliko čimbenika kao što su pokrivenost same tehnologije, strategije budućih tehnologija i ciljani tržišni segmenti.

Huawei je u suradnji s JANZ CE i u-blox osmislio prvo NB-IoT napredno brojilo električne energije (Slika 7.). Riječ je o pilot projektu kao dijelu UPGRID projekta Horizon 2020 Program of the European Commission. Infrastruktura mreže je instalirana od strane NOS-a, prvog operatora u Portugalu koji testira 4G-IoT tehnologiju na svojoj mrežnoj infrastrukturi. Rezultati i pogodnosti proizašli iz projekta su daljinsko mjerenje potrošnje električne energije, zadovoljstvo kupaca automatskim otkrivanjem nepravilnosti i kontinuirani razvoj tehnologije potaknut potencijalnim masovnim usvajanjem svjetskih operatora.



Slika 7. Prvo NB-IoT napredno brojilo električne energije

3. ZAKLJUČAK

Detaljnom analizom i usporedbom dviju naslovljenih komunikacijskih tehnologija dolazi se do zaključka da je prednost NB-IoT tehnologije u odnosu na PLC tehnologiju u pogledu performansi (brža i pouzdanija komunikacija), no s druge strane upotreba PLC komunikacijske tehnologije znači manje ulaganje u mjerno mjesto neovisno o položaju (urbano ili ruralno), značajno manje operativne troškove i manji rizik korištenja na dugi period.

4. LITERATURA

- [1] Developing robust power line communications (PLC) with G3, Texas Instruments, lipanj 2012
- [2] Narrowband IoT Groundbreaking in the Internet of Things, Deutsche Telekom AG, 2016
- [3] Cellular networks for massive IoT, Ericsson AB, siječanj 2016