

Radijski standard bluetooth 5.0

Valjalo, Baldo

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Dubrovnik / Sveučilište u Dubrovniku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:155:392894>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-17**



SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
UNIVERSITY OF DUBROVNIK

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Dubrovnik](#)



SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
ODJEL ZA ELEKTROTEHNIKU I RAČUNARSTVO

BALDO VALJALO
RADIJSKI STANDARD BLUETOOTH 5.0.

ZAVRŠNI RAD

Dubrovnik, rujan 2022.

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
ODJEL ZA ELEKTROTEHNIKU I RAČUNARSTVO

RADIJSKI STANDARD BLUETOOTH 5.0.

ZAVRŠNI RAD

Studij: Primijenjeno/poslovno računarstvo

Kolegij: Arhitektura mreža nove generacije

Mentor: izv. prof. dr. sc. Adriana Lipovac

Student: Baldo Valjalo

Dubrovnik, rujan 2022.

SAŽETAK

Bluetooth 5.0 je novija verzija standarda Bluetootha te je jedna od značajnih tehnologija koja se odnosi na komunikacijske tehnologije kratkog dometa povezanih s internetom stvari (eng. *Internet of Things*, IoT) okruženjem. IoT spada u novu vrstu umrežavanja kojoj je glavni cilj povezivanje mnoštva različitih uređaja korištenjem različitih komunikacijskih tehnologija. Glavni oblik bežične tehnologije koja se koristi u IoT okruženju je Bluetooth. Primjena Bluetootha odnosi se na razmjenu podataka između fiksnih i mobilnih bežičnih uređaja kratkog dometa. Bluetooth 5.0 koristi se niskoenergetskim Bluetooth protokolom (eng. *Bluetooth Low Energy*, BLE) koji je postao vodeći protokol u današnjoj primjeni te je dizajniran za jednostavnije uparivanje uređaja. U ovom radu opisan je Bluetooth 5.0 i njegova uloga, primjena i značajke u današnjoj svakodnevici kao i arhitektura BLE protokola kojom se koristi.

Ključne riječi: Bluetooth, Internet of things (IoT), Bluetooth Low Energy

ABSTRACT

Bluetooth 5.0 is the latest version of the Bluetooth standard and is one of the significant technologies related to short-range communication technologies associated with the Internet of Things (IoT) environment. IoT belongs to a new type of networking which main goal is to connect many different devices using different communication technologies. The main form of wireless technology used in the IoT environment is Bluetooth. The application of Bluetooth refers to the exchange of data between fixed and mobile short-range wireless devices. Bluetooth 5.0 uses the Bluetooth Low Energy protocol (BLE), which has become the leading protocol in today's applications, and is designed for easier pairing of devices. This paper describes Bluetooth 5.0 and its role, application and features in today's everyday life, as well as the architecture of the Bluetooth Low Energy protocol that is used.

Key words : Bluetooth, Internet of things (IoT), Bluetooth Low Energy

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
ABSTRACT.....	I
UVOD.....	1
1.1 Definicija rada.....	1
1.2 Svrha i ciljevi rada.....	1
1.3 Struktura rada.....	1
2 Što je Bluetooth?.....	2
2.1 Povijest Bluetooth-a.....	3
3 Arhitektura.....	4
3.1 Fizički sloj.....	5
3.2 Sloj veze.....	6
3.2.1 Operacije sloja veze.....	6
3.2.2 Oglas.....	7
3.3 Skeniranje.....	7
3.4 Veze.....	8
3.5 Profil generičkog pristupa (eng. <i>Generic Access Profile, GAP</i>).....	9
3.6 Protokol atributa (eng. <i>Attribute Protocol, ATT</i>).....	10
3.6.1 Atributi.....	11
3.6.2 Operacije protokola atributa.....	12
3.6.3 Potvrde (eng. <i>Acknowledgements, ACK</i>).....	12
3.7 Generički profil atributa (eng. <i>Generic Attribute Profile, GATT</i>).....	12
4 Nove značajke i koncepti.....	14
4.1 Veći raspon.....	15
4.2 Veća brzina.....	16
4.3 <i>Beacon</i> svuda.....	17
4.4 Duži vijek trajanja baterije.....	18
5 Scenariji, slučajevi korištenja i izvedba.....	20
5.1 Bluetooth 5 Performanse.....	22
6 Maske dostupnosti utora (eng. <i>Slot Availability Masks, SAM</i>).....	24
6.1 Mogućnosti i prednosti.....	24
6.2 Tehničke značajke.....	24
7 Zaključak.....	25
Prilozi.....	26
Literatura.....	27

UVOD

1.1 Definicija rada

Bluetooth je tehnologija koja je razvijena prije više od dvadeset godina i danas je ova tehnologija jedan od stupova Interneta stvari (IoT), svjetonazor koji pruža stalne veze među tehnološkim dodacima za postizanje značajnog utjecaja i poboljšanih performansi. Bluetooth se koristi za prijenos podataka putem radio valova, koji omogućuju međusobno povezivanje dvaju ili više uređaja. Ne postoji ograničenje za vrstu datoteke koja se može prenijeti, budući da takve datoteke mogu sadržavati podatke prikupljene sensorima, fotografije, dokumente, glazbu i videozapise. Međutim, najveći domet uređaja opremljenog Bluetoothom obično ne prelazi 100 metara, iako postoje tri različite klase, prema dometu pokrivenosti signalom. Klasa 1, najjača, može dosegnuti do 100 metara, klasa 2, najčešća, radi samo unutar 10 metara i klasa 3 ne prelazi 1 metar i ujedno je najmanje korišten, pogotovo u zadnje vrijeme.

Niskoenergetski Bluetooth (BLE) protokol postao je vodeći protokol koji će najvjerojatnije biti usvojen kao standard u odnosu na druge kompatibilne tehnologije i stoga se moraju temeljito proučiti i sve karakteristike. U izdanju BLE 5 uvedeno je nekoliko velikih poboljšanja što tehnologiju odmah čini privlačnijom u širem rasponu slučajeva uporabe od prije. Ova poboljšanja unose dodatnu složenost u BLE arhitekturu istovremeno dopuštajući više fleksibilnosti i raznolikosti konfiguracije za optimizaciju svake upotrebe.

1.2 Svrha i ciljevi rada

Svrha i cilj ovog završnog rada je pobliže upoznavanje s Bluetooth 5.0 tehnologijom, njezinom arhitekturom i načinom rada kao i primjenama tehnologije u svakodnevnici, posebno se osvrćući na primjenu u IoT-s okruženju.

1.3 Struktura rada

Završni rad je koncipiran tako da se sastoji od sedam poglavlja. Prvo poglavlje čini uvod. U drugom poglavlju upoznajemo se s Bluetooth tehnologijom i njezinom povijesti. U trećem poglavlju opisana je arhitektura koju koristi Bluetooth 5.0 tehnologije te su detaljnije opisani i svi slojevi arhitekture. U četvrtom poglavlju navedene su i opisane značajke i koncepti Bluetooth 5.0 tehnologije. Peto poglavlje odnosi se na scenarije, slučajeve korištenja i izvedbe Bluetooth 5.0 tehnologije. U šestom poglavlju opisane su maske dostupnosti utora, njihove mogućnosti i prednosti te tehničke značajke.

2 Što je Bluetooth?

Bluetooth je globalni standard za radijsku tehnologiju malog dometa, male snage, niske cijene i faktora male forme koja omogućuje uređajima da međusobno komuniciraju preko radijskih veza. Nastala je kao tehnologija zamjene kabela uglavnom za zamjenu serijskih podatkovnih kabela koji povezuju razne uređaje. Danas je stopa Bluetooth veze gotovo 100% za mobilne telefone, tablete i prijenosna računala. Bluetooth se također široko koristi u bežičnim slušalicama, zvučnicima, kamerama, u automobilima, igraćim konzolama i perifernim uređajima kao što su tipkovnice, miševi, pisari i skeneri.

Niskoenergetski Bluetooth (eng. *Bluetooth Low Energy*, BLE) jedno je od najnovijih poboljšanja Bluetooth tehnologije koje je dodano kao dio Bluetooth 4.0 specifikacije. Kao što naziv govori, namijenjen je "ultra" uređajima male snage. Ova tehnologija je u prošlosti bila poznata kao *Wibree* i *Ultra Low Power* (ULP). BLE još više proširuje značajku niske potrošnje energije Bluetootha. Očekuje se da će uređaji koji su u skladu s ovim standardom trošiti vrlo malo energije tako da mogu raditi mjesecima ili čak godinama na manjim baterijama bez potrebe za punjenjem ili zamjenom. Najprikladniji je za uređaje koji ne zahtijevaju veliku propusnost ili strujanje podataka. [1]

Bluetooth 5.0 najnovija je verzija standarda Bluetooth bežične komunikacije. Obično se koristi za bežične slušalice i druge audio hardvere, kao i bežične tipkovnice, miševe, zvučnike, *tracker*-e i kontrolere za igre. Bluetooth se također koristi za komunikaciju između raznih pametnih domova i uređaja Interneta stvari (IoT). Nova verzija Bluetooth standarda znači razna poboljšanja, ali samo kada se koristi s kompatibilnim periferijama. Drugim riječima, nećete vidjeti nikakvu neposrednu korist od nadogradnje na telefon Bluetoothom 5.0 ako su svi vaši Bluetooth dodaci dizajnirani za stariju verziju Bluetootha. Međutim, Bluetooth je kompatibilan s prethodnim verzijama, tako da se mogu nastaviti koristiti postojeći Bluetooth 4.2 i stariji uređaji s Bluetooth 5.0 uređajima. Novi periferni uređaji s Bluetooth 5.0 će raditi bolje zahvaljujući novim karakteristikama prilagođenim za novu verziju Bluetootha. [2]



Slika 1. Bluetooth logo

2.1 Povijest Bluetooth-a

Bluetooth je tehnologija koja je razvijena prije više od dvadeset godina. Bila je 1994. godina kada je predstavljen prvi nacrt prijenosa podataka koji će postati dio ekosustava digitalnog modema.

2003. godine Bluetooth tehnologija se smatrala mrtvom, ali to se nije dogodilo jer je Bluetooth uživao ogromnu popularnost i prosperitet u posljednjih deset godina u nekoliko područja primjene, kao što su audio komunikacije i stereo *streaming*. Bluetooth industrija sada napreduje i radi na proširenju primjene tehnologije na tržištu bežične komunikacije kratkog dometa. [3]

Jedan od nedostataka izvorne verzije Bluetootha u nekim aplikacijama je bila nedovoljno visoka brzina prijenosa podataka, posebno u usporedbi s drugim bežičnim tehnologijama kao što je 802.11. U studenom 2004. ratificirana je nova verzija Bluetootha, poznata kao Bluetooth 2.0, što je poboljšalo brzinu prijenosa podataka. Bluetooth 5.0 novija je verzija standarda Bluetooth bežične komunikacije. Potpuno je optimiziran za IoT. Bluetooth 5.0 nudi dvostruko veću brzinu prijenosa podataka od prethodne verzije, Bluetooth 4.2, dok povećava kapacitet prijenosa podataka za 800%. S Bluetooth 5.0 možete slati i primiti mnogo više podataka mnogo brže. Noviji standard je učinkovit u četiri puta većem dometu od Bluetooth 4.2, što će biti posebno korisno za stvari poput prijenosnih zvučnika. U siječnju 2019. Bluetooth *Special Interest Group* (SIG) objavila je standard Bluetooth 5.1. Jedna od glavnih značajki u ovom standardu je mogućnost otkrivanja smjera iz kojeg dolazi Bluetooth signal i tvrde da mogu procijeniti smjer s visokom točnošću. Nakon toga su izašle verzije Bluetooth 5.2 2019. godine i 5.3 2021. godine sa novim poboljšanjima. [4]

3 Arhitektura

Iako su Bluetooth 5 i Bluetooth 4 dio niskoenergetskog Bluetooth (eng. *Bluetooth Low Energy*, BLE) ekosustava, Bluetooth 5 je dizajniran da troši manje energije od svog prethodnika. Tako se Bluetooth 5 uređaji mogu ostaviti da rade dulje vrijeme, bez previše opterećenja baterija. Bluetooth niskoenergetska arhitektura je ilustrirana na sljedećoj slici 2.:



Slika 2. Bluetooth niskoenergetska arhitektura [5]

Komponente su fizički sloj koji upravlja radijskim prijenosom i sloj veze koji definira strukturu paketa, uključuje stanje stroja i radio kontrolu, te pruža razinu sloja veze. Ova dva sloja često su grupirana u kontroler, dok su preostali slojevi grupirani u domaćina (eng. *host*). Sučelje HCI (eng. *Host-to-Controller*) standardizira komunikaciju između kontrolera i domaćina. Glavni slojevi HCI-a su:

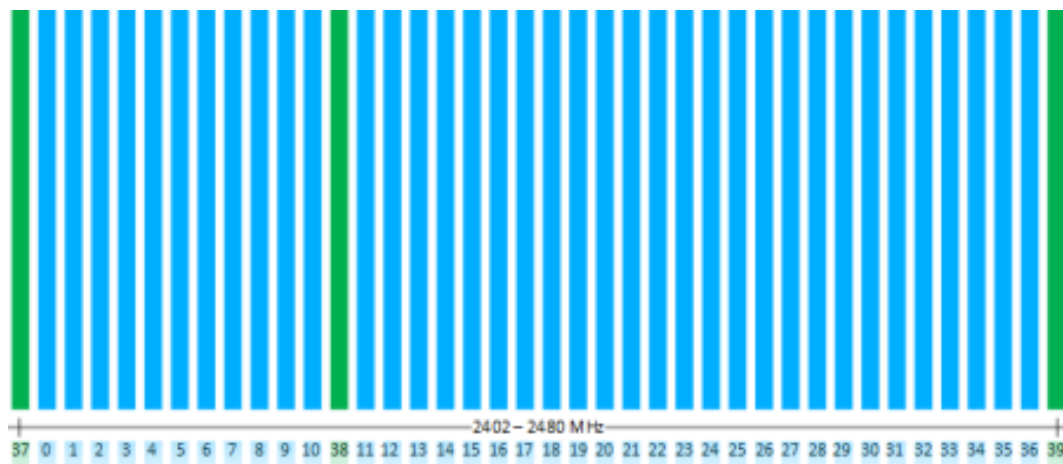
- L2CAP (eng. *Logical Link Control and Adaptation Protocol*) – kontrola logičke veze i protokol za prilagodbu. Djeluje kao multiplekser protokola i upravlja segmentacijom i ponovnim sastavljanjem paketa. Također pruža logičke kanale, koji su multipleksirani preko jedne ili više logičkih veza. L2CAP koji se koristi u Bluetooth tehnologiji niske potrošnje optimiziran je i pojednostavljen protokol temeljen na klasičnom Bluetooth L2CAP-u. U pravilu, programeri aplikacija ne moraju brinuti o detaljima interakcije s L2CAP slojem. Interakcijom upravlja Bluetooth stog.
- ATT (eng. *Attribute protocol*) – Protokol atributa, pruža sredstva za prijenos podataka između Bluetooth uređaja niske potrošnje. Oslanja se na Bluetooth niskoenergetske potrošnje i pruža procedure za čitanje, pisanje, označavanje i obavještanje vrijednosti atributa preko te veze. ATT se koristi u većini Bluetooth aplikacija niske potrošnje energije i povremeno u BR/EDR aplikacijama.
- GATT (eng. *Generic Attribute Profil*) – generički profil pristupa, GAP (eng. *Generic Access Profile*) sloj omogućuje Bluetooth uređajima niske potrošnje energije da

reklamiraju sebe ili druge uređaje, otkrivaju uređaje, otvaraju i upravljaju vezama i emitiraju podatke.

- SM (eng. Security Manager) – upravitelj sigurnosti. Pruža sredstva za povezivanje uređaja, šifriranje i dešifriranje podataka i omogućavanje privatnosti uređaja. [5]

3.1 Fizički sloj

BLE radi u 2,4 GHz ISM (eng. *Industrial Scientific Medical*) pojasu (2402 MHz - 2480 MHz), koji je bez licence u većini zemalja. Bluetooth 4 specifikacija definira 40 RF kanala s razmakom kanala od 2 MHz (prikazano na slici 3.). Tri od 40 kanala su kanali za oglašavanje (prikazani zelenom bojom), koji se koriste za otkrivanje uređaja, uspostavljanje veze i emitiranje frekvencije oglašivačkih kanala. Odabrane su kako bi se minimalizirale smetnje od IEEE 802.11 kanala 1, 6 i 11, koji su uobičajeno korišteni u nekoliko zemalja. U Bluetooth 5 specifikaciji tri kanala za oglašavanje istaknuta u nastavku nazivaju se primarnim kanalima za oglašavanje. Preostalih 37 kanala koriste se ili kao sekundarni kanali za oglašavanje ili kao podatkovni kanali koji se mogu koristiti za dodatni prijenos podataka o oglašavanju. [5]



Slika 3. Bluetooth niskoenergetski kanali i frekvencije

Podatkovni kanali koriste se za dvosmjernu komunikaciju između povezanih uređaja. AFH (eng. *Adaptive frequency-hopping spread spectrum*) koristi se za odabir podataka kanala za komunikaciju tijekom određenog vremenskog intervala. AFH je pouzdan, robustan i prilagođava se smetnjama. Svi fizički kanali koriste modulaciju GFSK (eng. *Gaussian Frequency Shift Keying*), s indeksom modulacije od 0,5, što omogućuje smanjenu vršnu potrošnju energije. U Bluetooth 4.0, 4.1 i 4.2 specifikaciji, brzina podataka fizičkog sloja je 1 Mbps. Bluetooth 5 standard uvodi dodatnu 2M PHY (eng. *Physical layer*) brzinu za bržu propusnost ili kraća vremena TX (eng. *transmitter*) i RX (eng. *receiver*). Nedavne promjene u Bluetoothu i regulatornim standardima omogućuju Bluetooth *Smart* uređajima prijenos do 100 mW (20 dBm) snage prijenosa. Međutim, ne dopuštaju sve zemlje korištenje prijenosne

snage od 100 mW jer Bluetooth niskoenergetski radio može pasti do dva RF (eng. *Radio frequency*) kanala kada postoje značajne smetnje. [5]

Tablica 1. Zahtjevi Bluetooth niskoenergetskog radija

Značajka	Vrijednost
Minimalna TX snaga	0.01 mW (-20 dBm)
Maksimalna TX snaga	100 mW (20 dBm)
Minimalna RX osjetljivost	-70 dBm (BER 0.1%)

Tablica 2. Tipični domet Bluetooth niskoenergetskog radija

TX snaga	RX osjetljivost	Dobitak antene	Domet
0 dBm	-92 dBm	-5 dB	160 m
10 dBm	-92 dBm	-5 dB	295 m

3.2 Sloj veze

Bluetooth niskoenergetski sloj veze pruža prvu razinu kontrole i strukture podataka nad sirovim radijskim operacijama i protokom bitova prijenosa i prijema. Na primjer, sloj veze definira sljedeće.

- Bluetooth stanje stroja i prijelazi stanja
- Format paketa podataka i oglasa
- Operacije sloja veze
- Veze, vremenski raspored paketa, ponovni prijenosi
- Sigurnost na razini sloja veze

Programeri aplikacija ne moraju ih detaljno razumjeti, ali neki bitni koncepti utječu na dizajn aplikacije, razvoj i rad krajnjeg uređaja. [5]

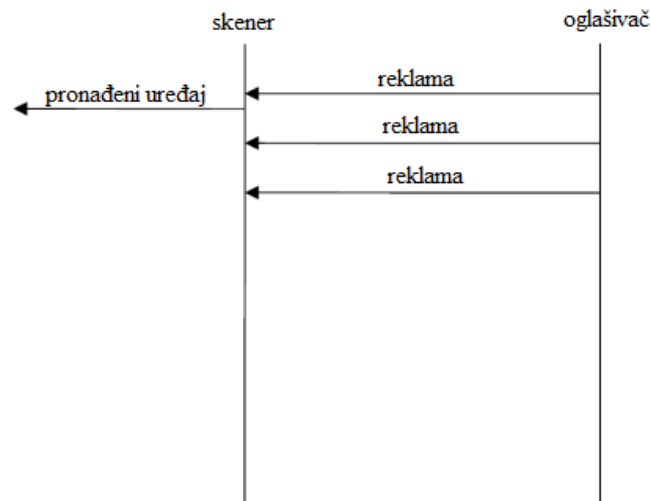
3.2.1 Operacije sloja veze

Ovaj odjeljak opisuje osnovne operacije sloja veze Bluetooth niske energije, uključujući:

- Oglašavanje
- Skeniranje
- Uspostavljanje veze

3.2.2 Oglas

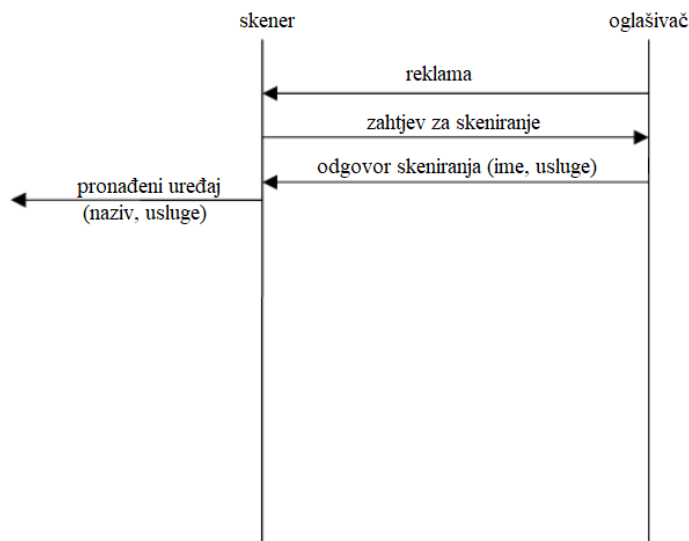
Oglašavanje je jedna od najosnovnijih operacija u Bluetooth niskoenergetskoj bežičnoj tehnologiji. Oglas pruža način za uređaje da emitiraju svoju prisutnost, dopuštaju uspostavljanje veza i opcionalno emitiraju podatke poput popisa podržanih usluga ili naziv uređaja i razinu snage prijenosa. Bluetooth je niskoenergetski uređaj koji oglašava emitirane pakete na jednom ili više kanala za oglašavanje, koje udaljeni uređaji tada mogu pokupiti. [5]



Slika 4. Bluetooth niskoenergetski oglas [5]

3.3 Skeniranje

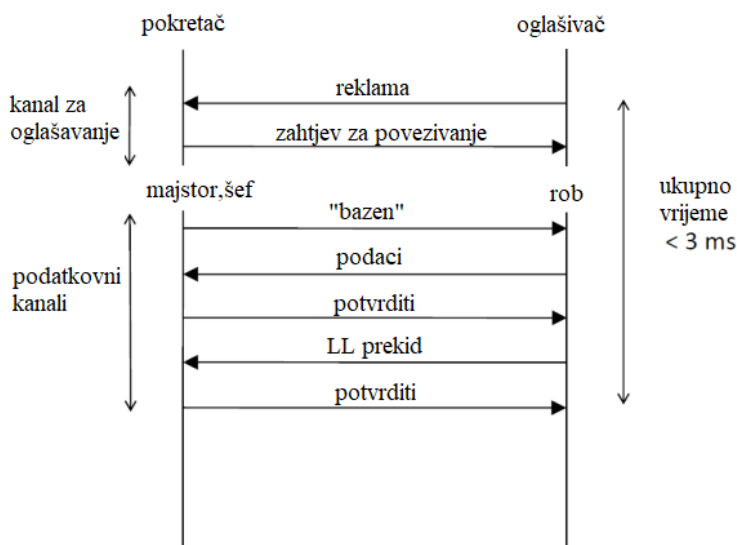
Skeniranje je operacija u kojoj skener osluškuje dolazne reklame kako bi otkrio, otkrio i povezo se ili jednostavno za primanje podataka koje emitiraju uređaji za oglašavanje. Podržane su dvije vrste skeniranja: pasivno i aktivno skeniranje. U pasivnom načinu skeniranja skener jednostavno osluškuje dolazne reklamne pakete. Skener kruži kroz svaki oglasni kanal na kružni način, slušajući jedan po jedan kanal. U aktivnom načinu skeniranja skener osluškuje dolazne reklamne pakete i nakon što ih primi, šalje dodatni paket zahtjeva za skeniranje oglašivaču kako bi se saznalo više informacija o njemu. Obično odgovor na skeniranje sadrži informacije poput popisa podržanih usluga i prijateljskog imena, ali aplikacija ima potpunu kontrolu nad podacima o odgovoru na skeniranje. [5]



Slika 5. Aktivno skeniranje [5]

3.4 Veze

Veze omogućuju prijenos podataka aplikacije na pouzdan i robustan način, jer Bluetooth niskoenergetske veze koristi *Cyclic redundancy check* (CRC), potvrde i ponovni prijenos izgubljenih podataka kako bi se osigurala točna isporuka podataka. Osim toga, Bluetooth niskoenergetske veze koriste *Adaptive Frequency Hopping* (AFH) za otkrivanje i prilagodbu okolnim *Radio Frequency* (RF) uvjetima i pružanje pouzdanog fizičkog sloja. Veze također podržavaju šifriranje i dešifriranje podataka kako bi se osigurala njihova povjerljivost. Bluetooth niskoenergetska veza uvijek počinje skenerom koji prima oglasni paket koji uključuje činjenicu da oglašivač dopušta veze. Sljedeća slika (slika 6.) ilustrira kako se uspostavlja Bluetooth niskoenergetska veza.



Slika 6. Uspostavljanje veze, prijenos jednog paketa i prekid veze [5]

Parametri veze mogu se ažurirati tijekom trajanja veze pomoću poruke ažuriranja veze. Povezivanje počinje kada *master* pošalje paket podređenom uređaju na definirani interval povezivanja. Podređeni uređaj može odgovoriti sa 150 μ s nakon što je primio paket od *master*-a. Ako podređeni uređaj nema podataka za slanje, može preskočiti određeni broj događaja povezivanja definiranih parametrom latencije podređenog uređaja. Ako pakete ne primi glavni (eng. *master*) ili podređeni unutar definiranog vremenskog ograničenja nadzora, veza se prekida. Ako podređeni uređaj ima više podataka za poslati nego što se može smjestiti u jedan paket, povezivanje će se automatski produžiti i podređeni uređaj može poslati onoliko paketa koliko ima vremena do početka sljedećeg intervala veze. Ovo se može koristiti samo s atributnim protokolom radnje koji ne zahtijevaju potvrdu. [5]

3.5 Profil generičkog pristupa (eng. *Generic Access Profile, GAP*)

GAP je jedan od prvih slojeva kojemu se izlaže svaki razvijatelj Bluetooth niskoenergetske tehnologije. To je iz razloga što se GAP koristi za kontrolu načina na koji je uređaj vidljiv i kako ga drugi uređaji mogu povezati, te kako otkriti i povezati se s udaljenim uređajima. Jednostavno rečeno, GAP omogućuje pristup operacijama sloja veze koje se odnose na otkrivanje uređaja, uspostavu i prekid veze i kontrolu vremena veze.

GAP definira uloge uređaja koje pružaju specifične zahtjeve za temeljni kontroler. Uloge omogućuju uređajima da imaju radio koji samo odašilje (TX), samo prima (RX) ili oboje.

- Prijenosnik (TX): šalje oglašivačke događaje i podatke o emitiranju.
- Promatrač (RX): osluškuje oglašivačke događaje i podatke o emitiranju.
- Periferija (RX i TX): uvijek podređena, može se povezati i reklamirati. Dizajniran za jednostavan uređaj koji koristi jednu vezu s uređajem u središnjoj ulozi.
- Središnje (RX i TX): uvijek glavni (eng. *master*), nikad ne oglašava. Dizajniran za uređaj koji je zadužen za pokretanje i upravljanje višestrukim vezama.

Uređaj može podržavati više od jedne uloge, ali samo jedna uloga može biti usvojena u određenom trenutku.

GAP također definira načine i postupke za otkrivanje, vezu i povezivanje. Terminologija je ista za *Bluetooth Low Energy* (BLE) i *Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate* (BR/EDR), iako se temeljna tehnologija može razlikovati.

Načini rada:

- Povezanost: može uspostaviti vezu. Stanje: nespojivo ili spojivo.
- Vidljivost: može se otkriti (oglašavanje). Stanje: Nema, ograničeno ili općenito.
- Veza: ako se može povezati, uparit će se s povezanim uređajem za dugotrajnu vezu. Stanje: nevezano, vezano.

Postupci:

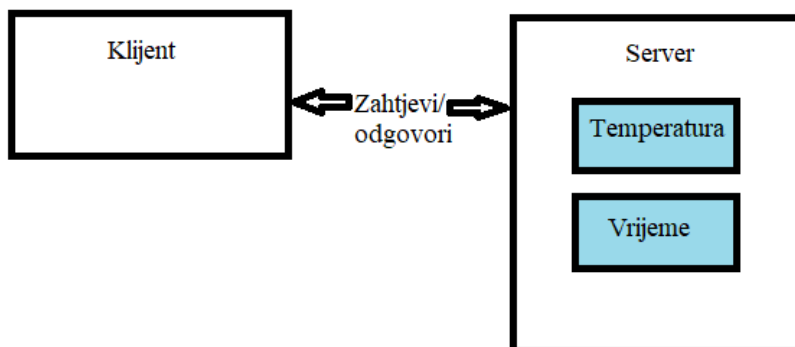
- Otkrivanje naziva: U izborniku je vidljiv naziv drugog uređaja. Ime se dijeli s BR/EDR-om, uređajem s dva načina rada.
- Otkrivanje uređaja: potraga za dostupnim uređajima za povezivanje.
 - Pronalazak adrese i naziva uređaja.
 - Definiranje uloge uređaja.
- Uspostava veze: odabir i spajanje na oglašivački uređaj.
 - Sloj povezivanja šalje naredbu za slanje CONNECT_REQ.
 - Otkrivanje usluge.
 - Autentifikaciju uređaja (ne autentifikaciju podataka).
 - Korištenje usluga.
- Otkrivanje usluga: koriste ga uređaji u središnjim i perifernim ulogama za pronalaženje usluga dostupnih na ravnopravnim uređajima [5]

3.6 Protokol atributa (eng. *Attribute Protocol*, ATT)

Bluetooth niskoenergetski profili otkrivaju stanje uređaja. Stanje je izloženo kao jedna ili više vrijednosti koje se nazivaju atributi. Protokol za pristup ovim atributima naziva se *Attribute Protocol* (ATT). ATT definira komunikaciju između dva uređaja koji igraju uloge poslužitelja i klijenta, na vrhu namjenskog L2CAP kanala. Protokol atributa definira dvije uloge:

- Poslužitelj: uređaj koji pohranjuje podatke kao jedan ili više atributa
- Klijent: uređaj koji prikuplja informacije za jedan ili više poslužitelja

Klijent može pristupiti atributima poslužitelja slanjem zahtjeva, koji pokreću poruke odgovora s poslužitelja. Za veću učinkovitost, poslužitelj također može poslati klijentu dvije vrste neželjenih poruka koje sadrže attribute: obavijesti, koje su nepotvrđene i indikacije, koje od klijenta zahtijevaju slanje potvrde. Klijent također može poslati naredbe poslužitelju za pisanje vrijednosti atributa. Transakcije zahtjeva/odgovora i indikacije/potvrde slijede shemu zaustavljanja i čekanja. [5]



Slika 7. Uloge uređaja (eng. *Device Roles*) [5]

3.6.1 Atributi

Atributi su nizovi koji mogu varirati od 0 do 512 bajtova i mogu biti fiksne ili promjenjive duljine. Svi atributi imaju oznake koje se koriste za adresiranje pojedinačnog atributa. Klijent pristupa atributima poslužitelja pomoću oznake. Atributi također imaju vrstu, opisanu UUID-om (eng. *Universally Unique Identifier*), UUID određuje što vrijednost atributa znači. Koriste se dvije vrste UUID-ova:

- Globalno jedinstveni 16-bitni UUID
- 128-bitni UUID-ovi specifični za proizvođača, koji se mogu generirati online

Tablica 3. Primjer atributa

Oznaka	UUID	Vrijednost	Opis
0x0001	0x1804	0x0000	TX snaga u dBm
T0x0002	0x2a00	0x426c75656769676120546563686e6f6c6f6769657	Naziv usluge, UTF-8

Atributi također imaju dopuštenja, koja mogu biti:

- Čitljivo / Nije čitljivo
- Može se pisati / ne može se pisati
- Može se čitati i pisati / Nije čitljivo i ne može se pisati

Atributi također mogu zahtijevati sljedeće:

- Autentifikacija za čitanje ili pisanje
- Ovlaštenje za čitanje ili pisanje
- Enkripcija i uparivanje za čitanje ili pisanje

3.6.2 Operacije protokola atributa

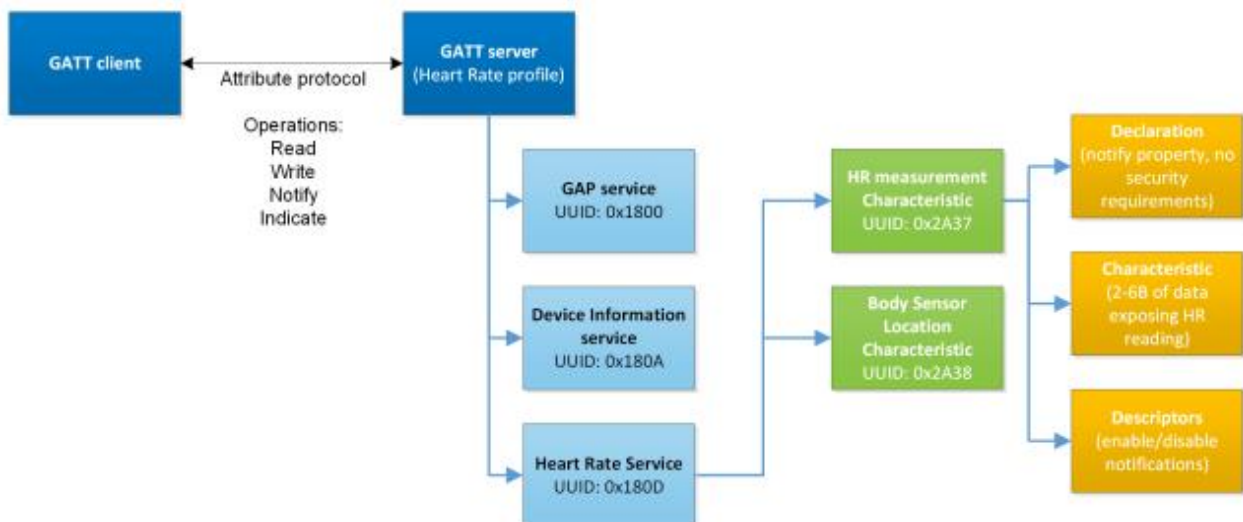
Protokol atributa je sekvencijalni protokol bez stanja, što znači da nijedno stanje nije pohranjeno u protokolu i da se može izvoditi samo jedna operacija u jednom trenutku. [5]

3.6.3 Potvrde (eng. *Acknowledgements*, ACK)

ATT operacije mogu izborno zahtijevati potvrde (ACK). Ovo omogućuje aplikaciji da zna koji su paketi podataka bili uspješno preneseni i može se koristiti za dizajniranje iznimno pouzdanih aplikacija. Budući da poslužitelj mora čekati ACK od klijenta, to utječe na protok podataka. Operacije bez ACK-a mogu se koristiti u aplikacijama koje zahtijevaju visoku propusnost, budući da se više operacija može izvesti unutar intervala veze. Sloj veze i dalje ponovno šalje izgubljene pakete, tako da to ne utječe na pouzdanost, ali aplikacija ne može znati koji paketi su uspješno preneseni. [5]

3.7 Generički profil atributa (eng. *Generic Attribute Profile*, GATT)

Generički profil atributa (GATT) izgrađen je na temelju protokola atributa (ATT) i uspostavlja zajednički okvir za podatke koje prenosi i pohranjuje protokol atributa. GATT definira dvije uloge: poslužitelj i klijent. GATT poslužitelj pohranjuje podatke koji se prenose preko *Attribute Protocol-a* (ATT) i prihvaća ATT zahtjeve od GATT klijenta. GATT poslužitelj s druge strane šalje odgovore na zahtjeve i kada je konfiguriran, šalje naznake i obavijesti GATT klijentu kada se događaji događaju na GATT poslužitelju. GATT također navodi format podataka koji se nalaze na GATT poslužitelju. Atributi, kako ih prenosi protokol atributa, formatirani su kao usluge i karakteristike. Usluge mogu sadržavati kolekciju karakteristika. Karakteristike sadrže jednu vrijednost i proizvoljan broj deskriptora koji opisuju vrijednost karakteristike. Bluetooth profili određuju strukturu u kojoj se razmjenjuju podaci. Profil definira elemente, kao što su usluge i karakteristike, koji se koristi u profilu, ali također može sadržavati definicije za sigurnosne parametre i parametre za uspostavljanje veze. Profil se obično sastoji od jedne ili više usluga koje su potrebne za postizanje slučaja korištenja na visokoj razini, kao što je praćenje otkucaja srca ili ritma. Standardizirani profili omogućuju dobavljačima uređaja i softvera izradu međusobno kompatibilnih uređaja i aplikacija.



Slika 8. Odnos između GATT klijenta, GATT poslužitelja, usluga, karakteristika i deklaracije karakteristika, podataka i deskriptora. [5]

Usluge su zbirke podataka sastavljene od jedne ili više karakteristika koje se koriste za postizanje određene funkcije uređaja, kao što je nadzor baterije ili podatke o temperaturi, a ne potpuni slučaj upotrebe. Karakteristika je vrijednost koja se koristi u usluzi, bilo za izlaganje i/ili razmjenu podataka i/ili kontrolu informacija. Karakteristike imaju dobro definiran, poznat format. Također sadrže informacije o tome kako se može pristupiti vrijednosti, koji sigurnosni zahtjevi moraju biti ispunjeni i izborni, kako se karakteristična vrijednost prikazuje ili tumači. Karakteristike mogu sadržavati i deskriptore koji opisuju vrijednost ili dopuštaju konfiguraciju karakterističnih indikacija podataka ili obavijesti. [5]

4 Nove značajke i koncepti

Za razliku od prethodnih verzija Bluetooth standarda, objavljenog kao .0 i praćenog ažuriranjima (kao što su 4.1 i 4.2), novi standard poznat je samo kao Bluetooth 5. Klasična verzija Bluetooth 5 identična je prethodnim verzijama, dok su značajne inovacije usmjerene na BLE verziju. Prema specifikaciji koju je predstavio *Special Interest Group* (SIG), hardverske ploče mogu podržavati tri vrste Bluetooth veza. To su BLE 4.x, Bluetooth 5 pri 2 Mbps i Bluetooth 5 kodiran. BLE 4.x je model veze koji koristi BLE specifikacija, tj. 4.0, 4.1 i 4.2. Ova vrsta veze poznata je kao BLE pri 1 Mbps jer je to očekivana brzina na najnižem sloju prije nego što se dodaju troškovi protokola. Bluetooth 5 pri 2 Mbps nova je brza veza koja je predstavljena. U ovom slučaju, na PHY sloju, njegova brzina je 2 Mbps. Bluetooth 5 *Coded* nova je posebna vrsta veze koja dolazi s Bluetoothom 5. Njegov cilj je osigurati veze na velike udaljenosti, ali s nižom brzinom prijenosa. Dakle, primarni cilj je širi raspon, a ne brzina. Jasno je da je novi standard dizajniran za stvaranje komunikacijske mreže koja osigurava, na maloj udaljenosti, komunikacijski pojas koji omogućuje razmjenu podataka među povezanim uređajima i drugim pametnim uređajima IoT-a. Dakle, ovo podrazumijeva mrežu za automatizaciju, što dodatno potiče razvoj i uvođenje pametnih i međusobno povezanih objekata. Bluetooth SIG sažima inovacije koje uvode novi standard, u usporedbi s prethodnim verzijama Bluetooth standarda (tablica 4.). Štoviše, tablica 4. uspoređuje različite verzije Bluetootha s dva druga bežična protokola koji se natječu za dominaciju golemim IoT tržištem, tj. IEEE 802.15.4/*ZigBee* i IEEE 802.11ah/*HaLow*. Oba protokola mogu biti privlačna za IoT jer svaki ima jedinstvene značajke koje bi mogle biti poželjne za različite aplikacije. Unatoč tome, konačne specifikacije *HaLow*-a predstavljene su 2016. godine i još uvijek je malo uređaja dostupno na tržištu. Zbog toga je u ovom radu izravna usporedba s IEEE 802.15.4. [3]

Tablica 4. Tehnička usporedba Bluetooth verzija i drugih bežičnih standarda. [3]

Značajke	Bluetooth klasični	Bluetooth 4.x	Bluetooth 5	IEEE 802.15.4 - <i>ZigBee</i>	IEEE 802.11ah - <i>HaLow</i>
Radio frekvencija (MHz)	2400 do 2483.5	2400 do 2483.5	2400 do 2483.5	868.3, 902 do 928, 2400 do 2483.5	900
Udaljenost/domet (m)	Do 100	Do 100	Do 200	Do 150	Do 1000
Tehnika srednjeg pristupa	Frekventno skakanje	Frekventno skakanje	Frekventno skakanje	CSMA/CA	Prozor s ograničenim pristupom
Nominalna brzina prijenosa podataka (Mbps)	1-3	1	2	0.02-0.25	0.15-7.8
Latencija (ms)	<100	<6	<3	<4	~1000
Topologija mreže	<i>Piconet, Scatternet</i>	<i>Star-bus, Mesh</i>	<i>Star-bus, Mesh</i>	<i>Mesh</i>	<i>Star-bus</i>
Multi-hop rješenje	<i>Scatternet</i>	Da	Da	Da	Do 2 skoka
Koncept profila	Da	Da	Da	Da	Ne
Čvorovi/Aktivni podređeni uređaji	7	Neograničeno	Neograničeno	Neograničeno	Neograničeno
Veličina poruke (bajtovi)	Do 358	31	255	100	100
Certifikacijsko tijelo	Bluetooth SIG	Bluetooth SIG	Bluetooth SIG	<i>ZigBee Alliance</i>	IEEE

4.1 Veći raspon

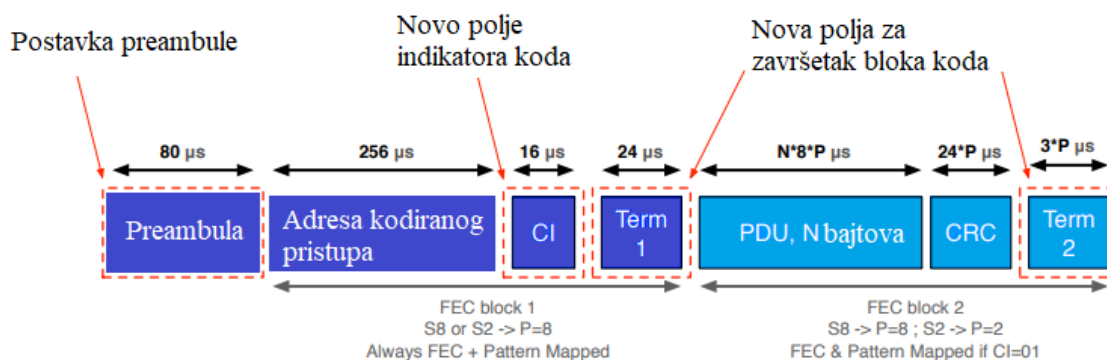
Prva značajna promjena odnosi se na značajno povećanje pokrivenog raspona. Bluetooth 4.x ima domet između 50 i 100 metara, zračne linije, na otvorenom i bez prepreka, koji se smanjuje na 10/20 metara u zatvorenim okruženjima. Bluetooth 5 ima za cilj učtverostručiti domet BLE uređaja. Zapravo, u najgorem slučaju, taj bi domet trebao biti 200 metara na otvorenom i oko 40 metara u zatvorenom prostoru. Ove vrijednosti mogu rezultirati značajnim uštedama u svijetu elektronike. Bluetooth 5 predlaže posebnu vrstu veze koja je razvijena za komunikaciju na daljinu. Važno je napomenuti da ova vrsta veze nije prikladna za Bluetooth zvučnike ili sinkronizaciju pametnih telefona/nosivih uređaja. Zapravo, ovaj način rada cilja na IoT gdje je potrebno postaviti jeftine module po cijeloj zgradi ili na otvorenom prostoru i prikupiti podatke. Dobiveni podaci mogu biti bilo što od svjetla, vlage, temperature, prometnih monitora ili detektori kretanja i tako dalje. Zapravo, mogućnosti su bezbrojne. Međutim, ovi senzori moraju slati svoje podatke središnjem čvorištu/pristupniku i nužno, zahtijevaju napajanje. Napajanje više ne predstavlja problem ako je uređaj spojen na izmjeničnu struju. U ovom slučaju, na primjer, uređaj bi mogao koristiti Wi-Fi za komunikaciju. Štoviše, zahtjev za potrošnju energije i Wi-Fi pokrivenost ograničava potencijal takvih uređaja.

U tom kontekstu, Bluetooth 5 bi mogao imati prednost jer uređaji koji koriste Bluetooth ne zahtijevaju nužno napajanje iz mreže. Mogu se instalirati jednostavnom baterijom. Moguće rješenje za proširenje dometa bez povećanja potrošnje energije je smanjenje brzine prijenosa podataka. Impresivna značajka PHY inovacija u Bluetooth 5 je način za poboljšanje osjetljivosti. Realizira se samo u LE kodiranom (eng. *Low Energy Coded*) tipu veze. Tipično, BLE zaglavljiva paketa i sadržaji nisu kodirani, tj. 1 bit se odnosi na 1 modulirani simbol. Ova značajka ostaje nepromijenjena za 1 Mbps i 2 Mbps načine veze. Međutim, u LE kodiranoj metodi povezivanja uvedenoj u Bluetooth 5, mogu se koristiti dvije mrežne brzine prijenosa podataka: 500 kbps i 125 kbps. U tim slučajevima, sadržaj ima mnogo simbola za svaki bit, $S=2$ za 500 kbps i $S=8$ za 125 kbps, gdje je S brzina simbola/bit. Više simbola po bitu znači povećanje tolerancije sa slabim omjerom signala i šuma (eng. *Signal-to-noise ratio*, SNR), a još uvijek pružaju povratni tok podataka. Ovaj mehanizam se u cijelosti pojavljuje u hardveru na transparentan način razvojnom programeru. Proces kodiranja uključuje dvije faze. a nakon toga, maper uzorka ocrta bit kod ulaznih bitova. Učinak ovih koraka je širenje podataka koji osiguravaju oporavak pomoću FEC-a (eng. *Forward Error Correction*) ako se pojave greške u bitovima i poboljšanu sposobnost za oporavak primljenog toka bitova. Ovaj cilj se može postići u uvjetima gdje je SNR smanjen na razinu da bi oporavak podataka bio neizvediv bez LE kodiranog načina rada.

Četverostruki raspon znači četverostruko smanjenje broja pristupnih točaka i proširivača dometa, što u području IoT predstavlja ključnu sposobnost za održavanje povezanosti sve opreme i čvorova u IoT mreži. Štoviše, povećani kapacitet može omogućiti stvaranje, na lakši način, komunikacijski kanali sa *beacon*-ima koji se nalaze na mnogo različitih mjesta: onih

koji su otvoreni za javnost, na primjer u zračnoj luci, na željezničkom kolodvoru, u trgovačkom centru ili za upotrebu u kući. Na taj način bežično povezivanje, koje se sve više koristi za pružanje usluga temeljenih na lokaciji, s manje ograničenja od trenutne tehnologije, može biti u potpunosti dostupna. Prošireni raspon znači da bi Bluetooth 5 mogao zamijeniti Wi-Fi kao komunikacijsku tehnologiju za mnoge IoT aplikacije.

Konačno, što se tiče raspona, pitanje se fokusira na izbor brzine prijenosa podataka od 125 kbps ili 500 kbps. Evidentno je da je ova odluka nedvojbeno povezana sa zahtjevima specifičnosti primjena. Zapravo, s 500 kbps moguće je postići otprilike dvostruko veći raspon od standardnog BLE-a pri 1 Mbps, dok se sa 125 kbps dvostruko može postići raspon od 500 kbps. Usprkos tome, s obzirom na strukturu paketa kada se koristi LE kodirani način, značajan dio paketa je adresa preambule, a kodiranje je na 125 kbps cijelo vrijeme, čak i pri odabiru 500 kbps koji se pojavljuju u polju 1 bit CI (eng. *Connection Interval*) paketa. Zapravo, za znatno jednostavne operacije senzora/pokretača, na primjer, od 4 do 8 bajtova, nije moguće toliko uštedjeti na 500 kbps preko 125 kbps u pogledu izbjegavanja sudara ili potrošnje energije, dok je širi raspon žrtvovan.



Slika 9. Struktura paketa s LE kodiranim načinom rada. [3]

Zaključak je da za jednostavan senzor/pokretač operacije, poželjno je koristiti 125 kbps za dobivanje dodatnog raspona, dok se za veće prijenose podataka od desetaka bajtova ili više može koristiti brzina prijenosa podataka od 500 kbps kako bi se postigle njegove prednosti. [3]

4.2 Veća brzina

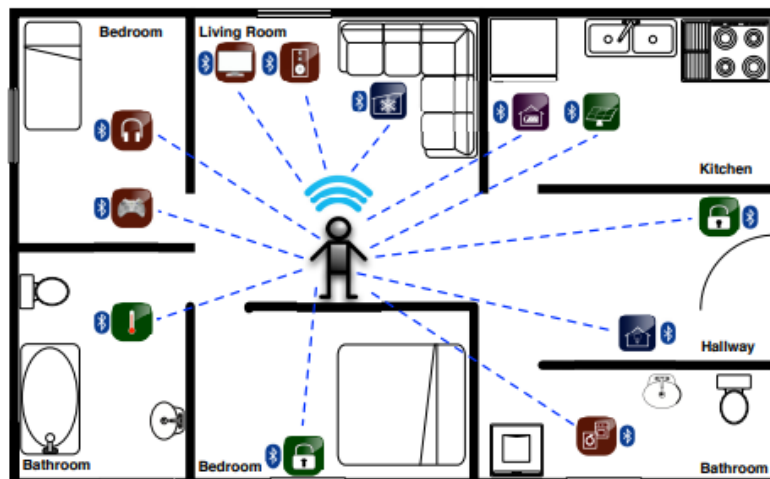
Poboljšanje brzine prijenosa podataka važna je značajka. Dok Bluetooth 4.x može postići maksimalnu brzinu od 1 Mbps, maksimalna brzina koju Bluetooth 5 može podržati je 2 Mbps. To znači da će se budući nosivi uređaji sinkronizirati dvostruko većom brzinom od one aktualne. Za većinu aplikacija, brzina trenutnog Bluetooth standarda za prijenos podataka

je dovoljna. U mnogim IoT aplikacijama brzina nije značajan problem. Ovo vrijedi za slučajeve upotrebe koji ne uključuju strujanje. Na primjer, s obzirom na nosive uređaje, kao što su narukvice za fitness, količina podataka za prijenos prilično je skromna i trenutno je podržana BLE brzina prijenosa podataka dovoljna. Ipak, čak i za takve nosive uređaje, veća brzina prijenosa može omogućiti brže ažuriranje softvera i *firmver-a* te poboljšava korisničko iskustvo. Prema *ABI Research* procjenjuje se da će se do 2020. razmijeniti više od 371 milijuna Bluetooth signala. Zahvaljujući većem kapacitetu prijenosa podataka od trenutnog Bluetooth 4.x, novog standarda može uključivati više podataka koje prenosi nekoliko pametnih uređaja, a ne samo klasični pametni telefoni i tableti. Kao posljedica toga, također će proizvođači koji se koriste u automobilskoj, kućnoj, poslovnoj i industrijskoj primjeni moći razmjenjivati informacije međusobno i s oblakom. Bluetooth 5 konsolidira značajku proširenja paketa Bluetootha 4.2, a poboljšanjem brzine prijenosa *on-eter*, moguća mrežna propusnost podataka udvostručena je, otprilike do 1400 kbps. Podaci se prenose brže, ali razmak među paketima nije smanjen. Bluetooth 5 je oko 1,7 puta brži od BLE 4.2. Još jedna značajna prednost prijenosa podataka od 2 Mbps je ušteda energije. [3]

4.3 Beacon svuda

Još jedno značajno poboljšanje koje dolazi s Bluetoothom 5 je prošireni kapacitet emitiranja u usporedbi s prethodnim verzijama. Ovo poboljšanje će imati značajan rezultat u svijetu *beacon-a* i proširit će raspon slučajeva njihove upotrebe. Blizina uređaja i *beacon* sustavi dodaci su i skupovi čipova koji mogu automatski slati, svim susjednim uređajima, lokalizirane informacije, kao što su jelovnici restorana, promocije, podaci o prometu na cestama i još mnogo toga. Bluetooth 5 također poboljšava mogućnost slanja posebnih paketa podataka, pod nazivom "oglašivački paketi". Ova komunikacijska strategija omogućuje dvaju Bluetooth uređaja razmjenu paketa i informacija čak i ako nisu međusobno sinkronizirani. Oglašivački paketi, na primjer, omogućuju uređaju skeniranje obližnjih područja i pronalaženje imena drugih uređaja s aktivnom Bluetooth tehnologijom i mogućnošću. U novom standardu paketi su veći i to omogućuje slanje više informacija i asinkronim uređajima. Ova značajka je osnova za razvoj IoT mreže. Dakle, ono što razlikuje Bluetooth 5 od njegovih prethodnika je način na koji rukuje *beacon-ima*, tj. porukama/paketima koji se mogu kontinuirano prenositi s uređaja za predstavljanje i primati ih korisnici u blizini na svojim pametnim telefonima, tabletima ili nosivim uređajima. Bluetooth 5 *beacon* ne zahtijeva uparivanje koje dolazi sa zvučnicima, slušalicama i drugim Bluetooth dodacima. Uzimajući u obzir da *beacon* može emitirati informacije kada uređaj s omogućenom Bluetooth tehnologijom stigne u dom, sadržaj specifičan za web mjesto, marketing s omogućenom lokacijom, proces ažuriranja i druge aplikacije postaju moguće. Uz Bluetooth 4.x, *beacon* mogu slati poruke od 31 bajta. Veličina ove poruke je mala, uzimajući u obzir da ovi bajtovi uključuju i poruku i sve dodatne protokole za označavanje vrste podataka u paketu. I Apple, s *iBeacon*-om, i Google, s *Eddystone*-om, pokušali su zaobići ovo ograničenje korištenjem UUID-a (eng. *Universally Unique Identifiers*), vrijednosti od 128 bita

koje mogu dopustiti prijammim uređajima da pronađu drugi *beacon*. Međutim, kada je potrebno uvesti značajnije informacije, kao što su URL-ovi ili telemetrijski podaci, jasno je da 31 bajt nije dovoljan. Bluetooth 5 rješava ovaj problem povećanjem veličine poruke od 31 bajta do 255 bajta. Podrška za mrežno umrežavanje još je jedna značajka koju podržava Bluetooth 5, kako je prethodno navedeno od strane SIG-a. Međutim, iako su Bluetooth 5 specifikacije objavljene, mrežna podrška nije uključena u njih. Zapravo, isprepletano umrežavanje za Bluetooth, poznato kao Bluetooth *Mesh*, objavljeno je tek nedavno. [3]



Slika 10. Sustav kućne automatizacije temeljen na Bluetoothu. [3]

4.4 Duži vijek trajanja baterije

Prošireni doomet i brzina mogli bi značiti veću potrošnju energije. Ipak, zahvaljujući nekom domišljatom dizajnu, kao što je način na koji je signal moduliran i napredak u korištenju frekvencijskog spektra, Bluetooth 5 koristi manje energetske resurse. U najboljem slučaju može potrošiti oko dva puta manje energije od prethodne verzije Bluetootha. Ako se kod žičanog uređaja brzina udvostruči, izravna posljedica je udvostručenje potrošnje energije. Ipak, treba napomenuti da Bluetooth radi na 2,4 GHz i ovoj radio frekvenciji diktira potrošnju energije, a ne brzinu prijenosa podataka. Bluetooth 5 omogućuje dvostruku razmjenu količine podataka, a rezultat je da uređaj troši upola manje energije za prijenos istih podataka. Važno je napomenuti da bi Bluetooth trebao biti jednako dobar ili bolji od komparativnih rješenja IEEE 802.15.4 (tj. *ZigBee*) da bi postao stvarna konkurentna tehnologija u životu okruženja. Iz tog su razloga nove BLE klase izlazne snage uvedene u Bluetooth 5:

- LE klasa 1: Max +20dBm; Min >+10dBm
- LE klasa 1.5: Max +10dBm; Min -20dBm
- LE klasa 2: Max +4dBm; Min -20dBm
- LE klasa 3: Max 0dBm; Min -20dBm.

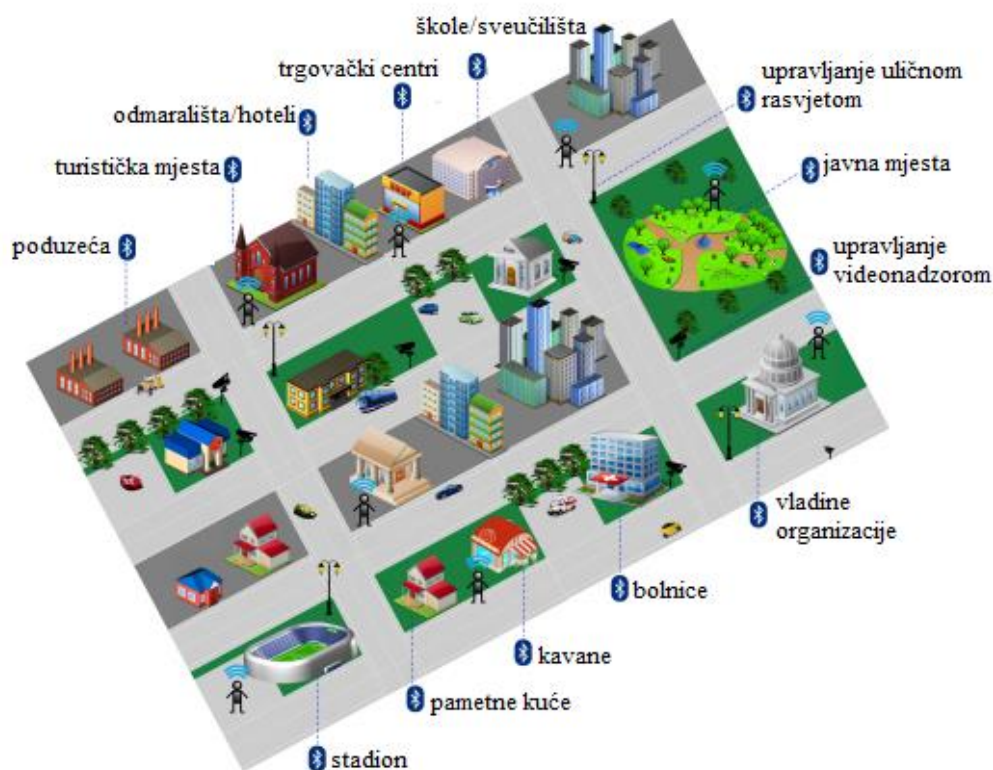
Prilikom odabira bežičnog standarda za IoT aplikacije na baterije, pružanje iste količine podataka s upola manjom snagom već je vrlo značajna prednost. Osim toga, smanjeni su i troškovi infrastrukture jer nisu potrebne pristupne točke ili usmjerivači. Kao posljedica, Bluetooth ima tendenciju lakšeg trajanja baterije nego Wi-Fi. Ukupni rezultat trebao bi biti sposobnost za izradu malih, robusnih IoT uređaja za industrijske i potrošačke primjene. [3]

5 Scenariji, slučajevi korištenja i izvedba

Poboljšanja u pokrivenom rasponu, veća brzina prijenosa podataka i povećanje veličine oglašivačkog paketa, dizajnirani su i proizvedeni upravo za poticanje širenja i usvajanja novog standarda u IoT svijetu.

U scenariju pametnog doma (Slika 10.), šira pokrivenost, na primjer, ne samo da omogućuje korištenje Bluetooth audio zvučnika bez problema da se ne mora kretati s pametnim telefonom u susjednu sobu, poboljšalo je i učinilo komunikaciju bržom između pametnih telefona i pametnih satova. Koristeći pametni telefon, tablet ili prijenosno računalo u ruci, vlasnici kuća mogu upravljati svjetlima, temperaturom, kućanskim aparatima, bravama za vrata i prozore i sigurnosnim sustavima u svom domu, čak i izvan zidova doma. Ova svrha može biti moguća zahvaljujući Bluetooth sensorima, za temperaturu, svjetla, vrata, prozore i detekciju pokreta, raspoređenim u domu. Na kraju, vlasnici kuća mogu nadzirati i upravljati svime, od rasvjete i kućnog sigurnosnog sustava do brava za prozore i vrata, s aplikacijama koje su jednostavne za korištenje. Budući da većina vlasnika već ima barem jedan Bluetooth kompatibilan pametni telefon, pametni sat ili tablet, to mogu učiniti s uređajima koji su im već poznati i znaju ih koristiti.

Bluetooth 5 može omogućiti IoT uređajima, poput pametnih satova, da se udalje od trenutnog uparenog modela aplikacije i uređaja i da rade neovisno. Kao posljedica toga, postupak rukovanja (uparivanja), za povezivanje s izvorom podataka i autoriziranje za dobivanje podataka, više nije potreban. U ovom bi slučaju neki uređaji mogli imati koristi od povećane autonomije, jer su snaga baterije i veličina zaslona sata ili nosivog uređaja ograničavajući čimbenici, koji često zahtijevaju pomoć uparenog uređaja, što je u većini slučajeva pametni telefon. [3]



Slika 11. Bluetooth 5: Omogućivanje povezanog pametnog grada. [3]

U pametnim gradovima koji koriste IoT tehnologije (Slika 11.), bitno je uposliti infrastrukturu koja je namijenjena stvaranju hiperlokacijskih i automatskih usluga. Upravo u ovom kontekstu dolazi do izražaja upotreba *beacon*-a. U gradovima bi se mogla postaviti mreža *beacon*-a, na javnim ili privatnim mrežama, za prikupljanje i slanje podataka natrag u centralizirano čvorište. Najznačajnija prednost korištenja *beacon*-a je ta što, u usporedbi s drugim tehnologijama pametnih gradova, mogli bi biti jeftinije rješenje. Korištenje Bluetootha 5 kao kontrolnog mehanizma također omogućuje gradovima da daljinski upravljaju različitim vrstama opreme čime se dodatno poboljšava učinkovitost. Zapravo, rješenja temeljena na Bluetoothu, za povezane pametne gradove, mogu poslužiti kao osnova za pružanje inovativnih usluga sljedeće generacije, za osnaživanje vlade, poduzeća i građana, čime se omogućuju pametniji gradovi. Ova transformacija u pametne gradove može se postići kroz ekosustav koji spaja rješenja različitih pružatelja usluga.

Na primjer, voditelji supermarketa, velikih trgovačkih lanaca i ravnatelji muzeja također mogu biti zainteresirani za ova tehnološka dostignuća. U prvom slučaju, *beacon*-i olakšavaju svakodnevnu potrošnju, usmjeravajući korisnike unutar različitih sektora i šaljući kupone za popust i obavijesti o najnovijim ponudama na temelju njihovog profila i njihovih kupovnih navika. Sve se to može postići bez da kupac poduzima bilo kakve radnje. U muzejima je npr. Bluetooth može zamijeniti audio vodiče. Posjetitelji mogu samo uključiti Bluetooth na pametnom telefonu kako bi dobili informacije o umjetninama. Sve se to može dobiti, kao što je već spomenuto, uz vrlo nisku potrošnju energije.

Bluetooth 5 može se koristiti kao rješenje za kontrolu ulične rasvjete koje nudi mogućnosti upravljanja na razini svake ulične rasvjete u gradu. Ovo dubinsko upravljanje mrežom može dati točnu povratnu informaciju u stvarnom vremenu o bilo kojoj promjeni koja se događa duž mreže, kako bi se smanjio gubitak energije i energetske udare te nudi napredne alate za optimizaciju održavanja.

Još jedna značajka u Bluetooth 5 je mogućnost emitiranja bogatijih podataka, uključujući ne samo informacije o lokaciji, ali i URL-ove i multimedijske datoteke. Na primjer, više senzora u trgovini moglo bi pružiti internu GPS navigaciju do određenog artikla. Sljedeći put potrošač ide u kupovinu, na primjer, nema potrebe pitati nekoga za upute. Bluetooth 5 bi mogao također biti koristan za samoupravljačke automobile, koji moraju komunicirati s mnogim sensorima i vanjskim sensorima izvora poput semafora. Kao izravna posljedica *beacon*-a posvuda, s dolaskom Bluetootha 5, IoT će imati ogromnu korist, unatoč činjenici na koju se trenutačno fokusira nekoliko tvrtki proizvodnja dodataka i uređaja temeljenih na Bluetooth 4.x vezi. Ako Bluetooth 5 ispuni obećana očekivanja, moguće je da će još više dobavljača odlučiti uskočiti na IoT tržište, uglavnom zahvaljujući puno nižoj cijeni *chipset*-a.

Nažalost, Bluetooth 5 ne dopušta ažuriranje starih Bluetooth uređaja. Zapravo, nova verzija Bluetootha zahtijeva novu vrstu čipova koji se moraju instalirati na novije uređaje. Starije verzije Bluetootha mogu dobro raditi na Bluetoothu 5, ali nemaju iste značajke, tj. i dalje će raditi svojom izvornom brzinom i udaljenošću. [3]

5.1 Bluetooth 5 Performanse

Provedeno je nekoliko eksperimentalnih mjerenja kako bi se procijenile performanse Bluetootha 5 u usporedbi s onima Bluetootha 4.2 i IEEE 802.15.4. U testnim scenarijima, Korištene su Bluetooth 5 nRF52840 razvojne ploče tvrtke *Nordic Semiconductor*. Ove ploče implementiraju Bluetooth 5 skup protokola i 32-bitni ARM Cortex-M4F mikro kontroler koji radi na 64 MHz. Štoviše, podržavaju tri vrste Bluetooth veza, tj. BLE 4.x, Bluetooth 5 pri 2 Mbps i Bluetooth 5 Kodirani (500 Kbps i 125 Kbps). Naprotiv, što se tiče IEEE 802.15.4, prihvaćene su ploče za izradu prototipova opremljene mikro kontrolerom *Microchip PIC24FJ256GB108* i radio frekvencijskim primopredajnikom MRF24J40MB, oboje od tvrtke *Microchip Technology*. U oba slučaja, ploče su opremljene 3 V baterijom u obliku novčića. Korištenjem ove baterije, njezina maksimalna razina, kada je potpuno napunjena, iznosi 250 mA, dok je odgovarajuća digitalna vrijednost, dobivena preko 10 bitnog analogno digitalnog (AD) pretvarača, 1024.

Scenarij kućne mreže je istražen, a učinak je procijenjen u smislu potrošnje baterije i propusnosti, kako u zatvorenom tako i na otvorenom. Nekoliko čvorova raspoređeno je u fiksnom položaju, dok je jedan uređaj korišten kao mobilni. Udaljenost između ove mobilne ploče i fiksnih promijenjena je između 20 i 5 metara u zatvorenom scenariju, te između 35 i

120 metara u otvorenom scenariju. Trajanje mjerenja bilo je 5 sati u svakom slučaju. Tablica 5. pokazuje da su i Bluetooth 5 i Bluetooth 4.2 ostvarili znatno nižu vrijednost potrošnje energije od IEEE 802.15.4. Zapravo, korištenjem potonjeg, snaga baterije je bila istrošena čak i prije vremena od 5 sati potrebnog za eksperimentalno mjerenje. U zatvorenom slučaju, Bluetooth 5 je postigao najbolji rezultat. Ista stvar se nije dogodila u vanjskom kontekstu. Zapravo, Bluetooth 5 kodirani način povezivanja razvojne ploče nRF52840 ima malo veću potrošnju energije od BLE 4.x načina. Ipak, potrebno je istaknuti da je u ovom vanjskom slučaju dohet između mobilnog i fiksnog uređaja dosegao čak 120 metara. Ovaj dohet prijenosa nije bio moguć s Bluetoothom 4.2 jer je maksimalni dohet bio oko 60 metara. Ovi rezultati dokazuju da je općenito Bluetooth brži od IEEE 802.15.4 i da Bluetooth 5 postiže bolju propusnost od Bluetooth 4 u svakom slučaju. Nadalje, za manje udaljenosti, brzina Bluetootha 5 znatno je brža od BLE 4.2. Također, jasno je da se propusnost smanjuje kako se udaljenost povećava. U scenariju u zatvorenom prostoru, dugotrajni način rada Bluetootha 5 nije korišten i, kao rezultat toga, kako se dohet povećava, prednosti Bluetootha 5 se smanjuju u usporedbi s BLE 4.2, što se tiče propusnosti. Međutim, u scenariju na otvorenom s *Line of Sight* (LOS) komunikacija, maksimalni dohet prijenosa Bluetooth 4.2 bio je oko 60 metara. Prijenos podataka putem Bluetootha 5 ne samo da je dosegao dohet od oko 120 metara, nego je čak i u ovom slučaju postigao bolju propusnost od druga dva bežična protokola.

Tablica 5. Unutarnji/vanjski scenarij, usporedba potrošnje baterije

Bežični protokol		Preostala baterija (digitalna vrijednost)	Potrošena baterija (postotak)
Bluetooth 5	Indoor	707	31
Bluetooth 4.2		645	37
IEEE 802.15.4		0	100
Bluetooth 5	Outdoor	604	41
Bluetooth 4.2		725	29
IEEE 802.15.4		0	100

Eksperimentalna mjerenja pokazuju izvrsna poboljšanja Bluetootha 5. Međutim, postoje i ovisnosti o osnovnim hardverskim mogućnostima korištenih radija. Zapravo, dostupne su četiri različite brzine prijenosa podataka. Očito, to nije moguće postići samo ažuriranjem *firmver-a* jer svaki uređaj mora podržavati te značajke na fizičkom sloju. Četiri poboljšanja koja nude Bluetooth 5 specifikacije, tj. udvostručenje brzine, smanjenje potrošnje energije za 50%, povećanje dometa komunikacije za faktor četiri i povećanje u emitiranju, u kombinaciji s potencijalnom sveprisutnošću standarda u potrošačkim uređajima, trebao bi omogućiti šire usvajanje standarda, uključujući IoT u nastajanju. Kao rezultat toga, moguće je da Bluetooth 5 na kraju postane jedan od temeljnih bežičnih standarda implementiran u mnogim IoT aplikacijama. [3]

6 Maske dostupnosti utora (eng. *Slot Availability Masks, SAM*)

Bluetooth 5 napravio je neke promjene kako bi poboljšao suživot s drugim radijskim tehnologijama na uređajima kao što su pametni telefoni. Bluetooth koristi ISM pojas od 2,4 GHz, a ovo je neposredno uz pojaseve *Mobile Wireless Standard* (MWS), poput onih koji se koriste za LTE. Postoji mogućnost interferencije između dva sustava, pri čemu prijenosi iz jednog desenzibiliziraju prijamnik na drugom. Bluetooth 5 predstavlja sustav pod nazivom *Slot Availability Masks* (SAM) koje omogućuju Bluetoothu da pokaže dostupnost svojih vremenskih odsječaka i da se optimalno sinkronizira korištenjem susjednih MWS pojaseva. [6]

6.1 Mogućnosti i prednosti

Bluetooth verzija osnovne specifikacije 5.0 definira značajku *Slot Availability Mask* (SAM) koja omogućuje uređajima da uzmu u obzir raspored slanja/prijema MWS radija u svom rasporedu Bluetooth BR/EDR prijensa i prijema. Dijeljenjem podataka o vremenskom odsječku uređaji mogu koordinirati dva radija i izbjeći smetnje koje bi inače mogle nastati. [6]

6.2 Tehničke značajke

Osnovna pretpostavka koja stoji iza SAM-a je da se Bluetooth prijenosi ne bi trebali odvijati tijekom MWS vremenskog odsječka koji se koristi za MWS operacije silazne veze i da se Bluetooth prijem ne bi trebao dogoditi tijekom vremenskog odsječka koji se koristi za MWS *Uplink* operacije. Značajka SAM definira procedure i PDU-ove (eng. *protocol data unit*) koji dopuštaju dvama Bluetooth BR/EDR uređajima da dijele podatke koji pokazuju koji su vremenski odsječci dostupni za prijenos ili prijem ili ni jedno ni drugo. Ovi podaci imaju oblik mape koja se naziva SAM mapa utora. [6]

7 Zaključak

Bluetooth 5.0 je novija verzija Bluetooth-a koja je pronašla široku primjenu u raznovrsnim životnim krugovima, poslovima, gospodarstvima. Dizajniran je kao niskoenergetsko rješenje za kontrolne i upravljačke aplikacije, kao i za uspostavljanje komunikacije između različitih uređaja. Bluetooth ima slojevitu mrežnu arhitekturu koja se temelji *Bluetooth Low Energy* (BLE) protokolu. Neke od važnijih značajki Bluetooth-a je sigurnost i pouzdanost prijenosa podataka. Radi jednostavnosti, niske potrošnje energije, isplativosti i robusnosti, *Bluetooth Low Energy* (BLE) je pronašao široku primjenu te se može pronaći u mobitelima, slušalicama, medicinskim uređajima, automobilima i drugo. Nažalost, jedan od nedostataka Bluetooth 5.0 je to što ne dopušta ažuriranje starih uređaja. Točnije zahtjeva novu vrstu čipova koji se moraju instalirati na novije uređaje. Starije verzije uređaja mogu isto raditi na Bluetooth-u 5.0 ali nemaju iste značajke te će i dalje raditi svojom izvornom brzinom i udaljenošću.

Prilozi

Popis slika:

Slika 1. Bluetooth logo.....	2
Slika 2. Bluetooth niskoenergetska arhitektura [5]	4
Slika 3. Bluetooth niskoenergetski kanali i frekvencije	5
Slika 4. Bluetooth niskoenergetski oglas [5].....	7
Slika 5. Aktivno skeniranje [5]	8
Slika 6. Uspostavljanje veze, prijenos jednog paketa i prekid veze [5]	8
Slika 7. Uloge uređaja (eng. <i>Device Roles</i>) [5]	11
Slika 8. Odnos između GATT klijenta, GATT poslužitelja, usluga, karakteristika i deklaracije karakteristika, podataka i deskriptora. [5]	13
Slika 9. Struktura paketa s LE kodiranim načinom rada. [3]	16
Slika 10. Sustav kućne automatizacije temeljen na Bluetoothu. [3]	18
Slika 11. Bluetooth 5: Omogućivanje povezanog pametnog grada. [3].....	21

Popis tablica:

Tablica 1. Zahtjevi Bluetooth niskoenergetskog radija.....	6
Tablica 2. Tipični domet Bluetooth niskoenergetskog radija	6
Tablica 3. Primjer atributa.....	11
Tablica 4. Tehnička usporedba Bluetooth verzija i drugih bežičnih standarda. [3].....	14
Tablica 5. Unutarnji/vanjski scenarij, usporedba potrošnje baterije	23

Literatura

- [1] N. Gupta, Inside Bluetooth Low Energy, Second Edition, Boston: Artech House, 2016..
- [2] C. Hoffman, »How-To Geek, Bluetooth 5.0: What’s Different, and Why it Matters,« 2018. [Mrežno]. Available: <https://www.howtogeek.com/343718/whats-different-in-bluetooth-5.0/>.
- [3] G. P. T. T. O. T. Mario Collotta, »Bluetooth 5: A Concrete Step Forward toward the IoT,« srpanj 2018. [Mrežno]. Available: https://www.researchgate.net/publication/320781837_Bluetooth_5_A_Concrete_Step_Forward_toward_the_IoT.
- [4] K. S. Mohamed, Bluetooth 5.0 Modem Design for IoT Devices, Springer Nature, 2021.
- [5] S. L. Inc., »Silicon Labs, UG103.14: Bluetooth® LE Fundamentals,« [Mrežno]. Available: <https://www.silabs.com/documents/public/user-guides/ug103-14-fundamentals-ble.pdf>.
- [6] M. Woolley, »Bluetooth 5,« [Mrežno]. Available: <https://www.bluetooth.com/bluetooth-resources/bluetooth-5-go-faster-go-further/>.

IZJAVA

Izjavljujem pod punom moralnom odgovornošću da sam završni rad izradio samostalno, isključivo znanjem stečenim na studijima Sveučilišta u Dubrovniku, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora *izv.prof.dr.sc. Adriane Lipovac*, kojoj se još jednom srdačno zahvaljujem.

Baldo Valjalo