

# Komunikacijske sposobnosti i primjena tehnologije Bluetooth tehnologije

---

**Srečić, Antonio**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:789409>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-17**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Antonio Srečić**

**KOMUNIKACIJSKE SPOSOBNOSTI I PRIMJENA**  
**BLUETOOTH TEHNOLOGIJE**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2018.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## ZAVRŠNI RAD

KOMUNIKACIJSKE SPOSOBNOSTI I PRIMJENA  
BLUETOOTH TEHNOLOGIJE  
COMMUNICATION CAPABILITIES AND USE OF  
BLUETOOTH TECHNOLOGY

Mentor: dr. sc. Mario Muštra

Student: Antonio Srečić  
JMBAG: 0135236768

Zagreb, rujan 2018.

Zagreb, 30. ožujka 2018.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**  
Predmet: **Mobilni komunikacijski sustavi**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 4800

Pristupnik: **Antonio Srečić (0135236768)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Komunikacijske sposobnosti i primjena tehnologije Bluetooth**

### Opis zadatka:

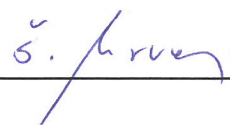
Navesti i opisati osnovne pojmove i principe rada bežičnih komunikacijskih sustava te pritom razmotriti građu njihovih tvorbenih jedinica. Opisati nastanak i razvoj tehnologije Bluetooth te primarnu primjenu. Definirati način pristupa prijenosnom mediju i prijenosa signala kod Bluetootha te navesti ostvarive brzine prijenosa s obzirom na spektralnu učinkovitost modulacijskog postupka i način prijenosa. Navesti moguće primjene tehnologije Bluetooth i opisati mehanizme zaštite. Nabrojati i opisati srodne WPAN protokole koji su nastali kao unaprjeđenje Bluetootha te navesti koje se komunikacijske mogućnosti ostvaruju njihovom primjenom.

Mentor:



doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:



# **KOMUNIKACIJSKE SPOSOBNOSTI I PRIMJENA BLUETOOTH TEHNOLOGIJE**

## **SAŽETAK**

Bluetooth tehnologija je jedna od bežičnih komunikacijskih tehnologija, i može se reći da je standard za takve tehnologije. Glavna prednost je u tome što za prijenos nisu potrebni kabeli već se kao prijenosi medij koriste radiovalovi. Inicijativa za razvoj bežične tehnologije pokrenuta je od strane znanstvenika u Ericsson-u u Švedskoj. Bluetooth ima široku uporabu, a ponajviše kod manjih prijenosnih uređaja. Razlozi široke primjene su kvalitetan signal kod prijenosa te velika udaljenost na kojoj je moguće ostvariti komunikaciju. Osim Bluetooth tehnologije, postoje mnoge tehnologije sa sličnom primjenom i dometom za komuniciranje.

**KLJUČNE RIJEČI:** modulacija signala; razvoj Bluetootha; Bluetooth uređaji; sigurnost Bluetooth uređaja

## **SUMMARY**

Bluetooth technology is one of the many wireless communication technologies, and it could be said that it is a standard for wireless technology. The main advantage of these technologies is that the transmission does not require cables. Rather than using cables, Bluetooth uses radio waves for transmissions. The initiative for the development of wireless technology was initiated by scientists at Ericsson in Sweden. Bluetooth today has wide use, especially with smaller portable devices. Main reasons of wide use are high quality signal and great distance where communication can be established. Beside Bluetooth technology, there are others technologies with similar use and long range for communication.

**KEY WORDS:** signal modulation; Bluetooth development; Bluetooth devices; Bluetooth security;

## SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Osnovni pojmovi i princip rada bežičnih komunikacijskih sustava.....	3
2.1 Radiovalovi .....	4
2.2 Antene .....	6
2.2.1 Žične antene .....	6
2.2.2 Mikrotrakaste antene .....	8
2.2.3 Antenski nizovi .....	8
2.2.4 Reflektor antena .....	9
3. Nastanak i razvoj Bluetootha .....	10
4. Modulacija signala i brzine prijenosa.....	14
5. Primjena Bluetooth tehnologije i sigurnost.....	19
5.1 Primjena Bluetooth tehnologije .....	19
5.2 Sigurnost Bluetooth tehnologije.....	22
6. Srodni komunikacijski WPAN protokoli .....	24
6.1 IrDA .....	24
6.2 ZigBee.....	24
6.3 IEEE 802.15.....	25
6.4 Z-wave .....	25
7. Zaključak.....	27
Literatura .....	28
Popis kratica .....	30
Popis slika.....	32
Popis tablica.....	32

## 1. Uvod

Bluetooth je standard za bežične tehnologije, a danas ima široku primjenu upravo u prijenosnim uređajima, dakle koristi se za prijenos informacija na malim udaljenostima. Cijela inicijativa za razvoj bežične tehnologije koja bi pokrivala signalom manje područje pokrenuta je od grupe znanstvenika iz Švedske. Glavna prednost bežične tehnologije je u tome što se za prijenos koriste radiovalovi, odnosno zrak pa nije potrebno izgrađivati posebnu infrastrukturu. Bluetooth bežična komunikacija omogućuje brzu uspostavu veze između različitih uređaja koji podržavaju takav oblik komunikacije kao što su primjerice mobilni telefon ili laptop. Bluetooth ima takve specifikacije da omogućava efikasno slanje informacija, odnosno komuniciranje između uređaja i pruža određenu garanciju sigurnosti od raznih interferencija, gubitaka i krađe podataka. Bluetooth se sastoji od dva modula, radiouređaja koji je zadužen za moduliranje i slanje informacija te digitalnog kontrolera. Radi na frekvencijama koje su unaprijed dogovorene na globalnoj razini baš upravo da se spriječe razne interferencije, ali i da se osigura kompatibilnost sa svim uređajima, neovisno u kojoj se državi nalazili ili u kojoj je državi određeni uređaj proizveden.

Cilj ovog rada je što detaljnije objasniti princip rada Bluetooth tehnologije, navesti i objasniti koje su glavne prednosti i mane, opisati razvoj bežične tehnologije, navesti do kojih je mogućnosti danas uznapredovala i navesti gdje se sve koristi. Rad je podijeljen u 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Osnovni pojmovi i princip rada bežičnih komunikacijskih sustava
3. Nastanak i razvoj Bluetootha
4. Modulacija signala i brzine prijenosa
5. Primjena Bluetooth tehnologije i sigurnost
6. Srodni komunikacijski WPAN protokoli
7. Zaključak.

U drugom poglavlju opisani su pojmovi vezani uz bežičnu tehnologiju, pojedini bežični standardi, kako se prenosi bežični signal i što je sve potrebno za ostvarivanje takvog prijenosa. Spomenuto je koji su to osnovni elementi svakog bežičnog komunikacijskog sustava.

U trećem spomenuto je kako je uopće zaživjela ideja o Bluetooth tehnologiji te kako je ta tehnologija razvijana i unaprjeđivana kroz godine, odnosno kako su razvojem tehnologije poboljšani standardi i efikasnost takvog komuniciranja.

Četvrto poglavlje bavi se najvažnijom stavkom bežičnog prijenosa, a to je način prijenosa signala kroz prostor, odnosno zrakom, opisano je na koji se način i koje su sve izvedbe

pretvaranja informacije u oblik pogodan za prijenos, a da istovremeno bude što manje gubitaka i da ta informacija bude što brže prenesena od točke A do točke B.

U petom poglavlju prikazani su primjeri primjene te način kako je sve Bluetooth tehnologija implementirana u uređaje oko nas te koji su potencijalni problemi primjene takve tehnologije s većim fokusom na sigurnost podataka koji se šalju tim standardom.

U šestom poglavlju navedeni su i opisani protokoli koji spadaju u istu skupinu kao i Bluetooth s obzirom na područje pokrivanja i ostvarivanja komunikacije, kao što je ZigBee te na kraju ukratko spomenute glavne prednosti, primjena, kao i glavni ciljevi te planovi za rast i razvoj Bluetooth tehnologije.



## 2. Osnovni pojmovi i princip rada bežičnih komunikacijskih sustava

Bežična komunikacija, kao što i sama riječ govori, je jedan od načina ostvarivanja komunikacije između dva ili više uređaja, odnosno prijenosa informacije od izvora do odredišta bežičnim putem, dakle nisu potrebni kabeli, već se za prijenos koriste radiovalovi. Upravo zato što za prijenos nije potrebno puno ulagati u infrastrukturu ovaj način komuniciranja vrlo je brzo postao popularan te se i danas pokušava dodatno unaprijediti kako bi se nedostaci sveli na minimum. Prvi pokušaji bežičnog načina komunikacije započeli su još 1895. godine, kada je uspješno izvršen bežični prijenos tekstualnih poruka, a sličan princip je zadržan i danas uz naravno izmijenjenu izvedbu.

Kao što je spomenuto, kod bežičnog komuniciranja za prijenos se koriste radiovalovi, a glavni pojmovi (veličine) kojima se opisuje svaki val jesu:

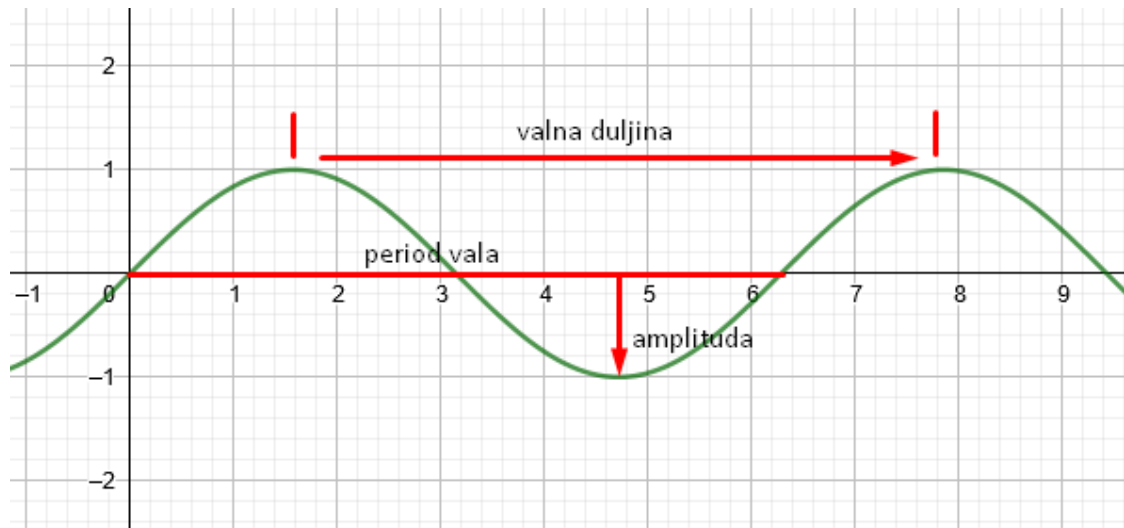
- period vala ( $T$ )
- valna duljina ( $\lambda$ )
- frekvencija ( $f$ )
- amplituda ( $A$ )
- faza vala.

Period vala označava jedan ciklus periodičke promjene, vrijeme potrebno da se val pomakne za jednu valnu duljinu.

Valna duljina odgovara udaljenosti između uzastopnih vrhova odnosno točki na valovima.

Frekvencija odgovara broju titranja neke čestice u sekundi, a obrnuto je proporcionalna periodu vala.

Amplituda označava najveće odnosno najmanje vrijednosti nekog vala, najveći otklon od srednje vrijednosti veličine kojom se opisuje val.[1]



Slika 1. Osnovne veličine valova

## 2.1 Radiovalovi

Radiovalovi spadaju u spektar elektromagnetskih valova s valnom duljinom duljom od infracrvenog zračenja. Frekvencija radiovalova kreće se od 3 kHz do 300 GHz i podijeljena je na manja područja koja se još nazivaju frekvencijski pojasevi. Tako je frekvencija određenog područja (pojasa) 10 puta veća od prethodnog.[3]

Tablica 1. Prikaz radiospektra

Područje	Oznaka	Frekvencijski raspon	Primjena
Ekstremno niske frekvencije	ELF	3 Hz – 30 Hz	Komunikacija kod podmornica
Super niske frekvencije	SLF	30 Hz – 300 Hz	Komunikacija kod podmornica
Ultra niske frekvencije	ULF	300 Hz – 3000 Hz	Komunikacija kod podmornica
Jako niske frekvencije	VLF	3 kHz – 30 kHz	Navigacija, vremenski signali kod digitalnih satova
Niske frekvencije	LF	30 kHz – 300 kHz	Odašiljanje s primjenom amplitudne modulacije
Srednje frekvencije	MF	300 kHz – 3000 kHz	Odašiljanje s primjenom amplitudne modulacije
Visoke frekvencije	HF	3 MHz – 30 MHz	Radio postaje
Vrlo visoke frekvencije	VHF	30 MHz – 300 MHz	Odašiljanje televizijskog signala

Ultra visoke frekvencije	UHF	300 MHz – 3000 MHz	Mikrovalna pećnica, Bluetooth, bežične lokalne mreže
Super visoke frekvencije	SHF	3 GHz – 30 GHz	Bežične lokalne mreže, satelitske komunikacije
Ekstremno visoke frekvencije	EHF	30 GHz – 300 GHz	Bežične lokalne mreže (802.11ad protokol)

Radiovalovi imaju najširu primjenu u fiksnim i mobilnim radiokomunikacijama, a koriste se i u emitiranju-u ili prijenosu prema više odredišta, kod radionavigacijskih sustava, satelitskih komunikacija, u računalnim mrežama. Radiovalovi se generiraju od strane radioodašiljača i odašilju se u svim smjerovima, a primaju ih te dekodiraju radioprijamnici. Princip ostvarivanja bežične komunikacije opisan je kasnije u ovom poglavlju. Kako će se valovi propagirati u atmosferi najviše ovisi o samoj frekvenciji vala koja može biti u rasponu, kao što je već ranije spomenuto, od 3 kHz do 300 GHz. Tako postoje valovi koji će zaobilaziti prepreke i pratiti površinu, zatim postoje kraći valovi koji se odbijaju od ionosfere te se vraćaju prema površini te valovi koji ne mogu zaobilaziti prepreke pa je potrebno da budu u mjestu vidljivosti. Radiovalovi se s obzirom na način širenja mogu podijeliti na:

- prostorni radioval
- površinski
- izravni
- reflektirani.

Prostorni radioval usmjeren je prema gornjim dijelovima atmosfere i od tamo se pod određenim uvjetima vraća za Zemlju. [3]

Površinski (slijede zemljinu zakrivljenost) je elektromagnetski val koji se širi uz površinu Zemlje. Val prati Zemljinu površinu ne napuštajući je, od odašiljačke do prijamne antene i na njega manje utječu promjene u atmosferi nego na druge načine rasprostiranja.[3]

Izravni (pravocrtni val u domeni optičke vidljivosti) – širi se gotovo pravocrtno od odašiljača antene prema mjestu prijama koji je u mjestu njegove vidljivosti, tj. iznad radiohorizonta.[3]

Reflektirani je elektromagnetski val koji se na svom putu reflektira od površine Zemlje. Radiovalovi niskih frekvencija su površinski i/ili prostorni radiovalovi. Radiovalovi visokih frekvencija (iznad 30-ak MHz) imaju pravocrtno širenje (šire se kroz horizont).[3]

Kod valova, važno je obratiti pozornost na moguće interferencije, odnosno smetnje. Takve smetnje se javljaju na mjestu preklapanja dva ili više valova koji se nalaze u istom frekvencijskom području, no osim međudjelovanja više valova pritom radeći u istom frekvencijskom području mogući uzrok smetnji su i atmosferski utjecaji pa tako za lošeg vremena propagacija valova, odnosno kvaliteta signala bude narušena. Najčešći uzrok

interferencija jesu razni elektronički uređaji koji rade na frekvencijskom području od 2.4 GHz na kojem radi i Wi-Fi. Obzirom da dosta uređaja radi na zagušenim frekvencijskim područjima doneseni su brojni standardi i regulacije kako bi se spriječile potencijalne smetnje, što regulira međunarodna agencija ITU (engl. International Telecommunications Union).[3]

## 2.2 Antene

Svaki bežični komunikacijski sustava sastoji se od sljedećih komponenti:

- izvor
- modulator
- demodulator
- prijenosni kanala
- odredište.

Modulator, odnosno demodulator, ključna je stavka svakog komunikacijskog sustava pa tako i bežičnog. Općenito, modulacija je postupak obrade signala kojim se u prijenosni signal utiskuje signal informacije. Modulator je uređaj čija je namjena pretvorba jednog oblika energije u drugi (odnosno pretvorba jednog oblika signala u drugi) dok modulator radi upravo suprotno, ovisno o dobivenom signalu. Više o modulaciji i modulacijskim tehnikama je obrađeno u 4. poglavlju. Antena je uređaj koji pretvara elektromagnetsku energiju u elektromagnetske valove i obrnuto, a ima mogućnost i primanja i odašiljanja signala. Da bi se neka antena opisala koriste se različiti parametri kojima se najbolje prikazuju glavne karakteristike antena pa se na temelju njih može procijeniti za koju vrstu namjene je koja vrsta antena pogodna. Parametri kojima se antene opisuju su: polarizacija, dijagram zračenja, kut usmjerenosti, širina snopa, usmjerenost, dobitak, potiskivanje sekundarnih latica, impedancija.[4]

Kao što postoji više frekvencijski pojaseva tako postoji i više oblika i izvedbi antena ovisno o njihovoj namjeni i frekvencijskom pojasu za koji se koriste, a to su:

- žične antene
- otvor antene
- mikrotrakaste antene
- antene sastavljene od više antenskih elemenata (antenski nizovi)
- reflektor antene
- leća antene.

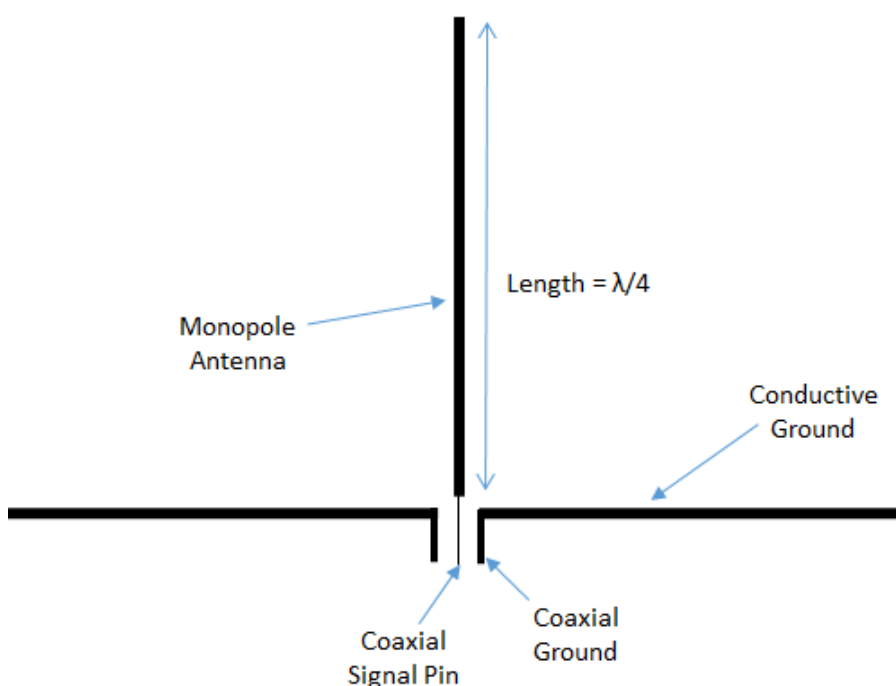
### 2.2.1 Žične antene

Žične antene dijele se na:

- L tip
- T tip
- unipol (štap antena)
- dipol

- okvir
- parabolična
- lijevak antena
- helikoidna
- polutalasni dipol.

Unipol antena je polu dipolna antena s određenim izvedbama kako bi se nadoknadili nedostaci u odnosu na dipolne antene. Unipol antena se sastoji od jednog vodiča (kao što je na primjer metalni štap) koja je postavljena iznad zemlje ili iznad neke vodljive površine. Jedan dio ovakvih antena povezan je od prijamnika ili odašiljača s vodičem dok je druga strana povezana na uzemljenje. Unipol antene se najbolje mogu opisati kao dipoli samo što su sastavljene od samo jednog vodiča.[4]



Slika 2. Prikaz unipol antene, Izvor: [6]

Dipol antena je vrsta antene na kojoj se temelji velika većina ostalih antena. Takve antene se sastoje od dva vodiča koji su postavljeni simetrično. Najčešći tip je poluvalni dipol i sastoji se od dva rezonantna elementa dužine četvrtinu valne duljine. Dipolne antene najviše zrače u smjeru okomitom na samu antenu, a dobitak im je 2,15 dBi (dBi se koristi za izražavanje dobiti i baziran je na decibelima – dB). Mogu se koristiti samostalno, ali postoje mnoge izvedbe složenijih antena koje se sastoje i od dipolnih antena.[4]



Slika 3. Primjer dipol antene, Izvor: [7]

### 2.2.2 Mikrotrakaste antene

Mikrostrip ili mikrotrakaste antene mogu se podijeliti na dva tipa: pravokutne i kružne antene ovisno o obliku antena. Malih su dimenzija, zrače u jednu poluravninu, nisu pogodne za širokopojasni prijenos zbog visoke rezonancije. Imaju široku primjenu kod bežičnih tehnologija obzirom da zauzimaju malo prostora. [4]

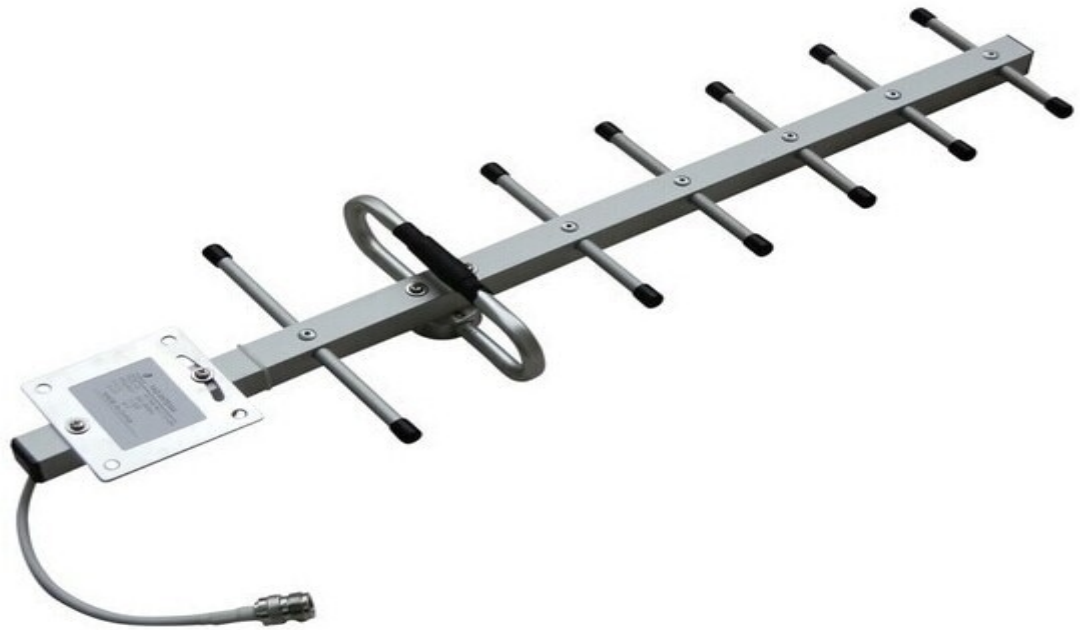
### 2.2.3 Antenski nizovi

Antenski nizovi sastavljeni su od više istih ili različitih antena koji djeluju kao jedna antena. Reflektivni antenski nizovi sastoje se od više dipola koji su postavljeni ispred ravne reflektirajuće ploče, tipično se koriste kod radara i odašiljanja UHF televizijskog signala.

Kolinearni antenski nizovi se sastoje od više dipolnih antena složenih u vertikalnu liniju. Ovakvi tipovi antena su dobri jer više snage zrače u horizontalnom smjeru, a puno manje u smjeru neba odnosno zemlje pa su gubici mali. Dobitak ovakvih antena obično se kreće između 8 dBi i 10 dBi.

Osim navedena dva tipa postoji i treći tip, računalom kontrolirani antenski nizovi koji stvaraju snop radiovalova koji može biti elektronički usmjeren prema nekoj određenoj točki, u različitim smjerovima, bez pomicanja antene. Sastoji se od više dipolnih antena koje se napajaju pomoću faznih pomaka tako da se istima upravlja preko računala (udaljenih kontrola), a obično se koriste kod vojnih radara te sustava za prigušivanje.

Yagi antena je primjer antenskih nizova koji ima dosta široku uporabu. Dobitak takvih antena je od 6 dBi do 20 dBi te se koristi kod UKV područja (tv prijamnik).[4]



Slika 4. Yagi antena, Izvor: [8]

#### 2.2.4 Reflektor antena

Antenski nizovi su jedan od tipova koji se dosta često koriste u bežičnim komunikacijama, najčešće sastavljeni od dipolnih antena. Dvije glavne izvedbe ove antene su zakrivljena, koja reflektira valove pod određenim kutom te ravne koje reflektiraju valove istim efektom poput zrcala.

Bluetooth tehnologija, koristi navedene antene u malo drugačijoj izvedbu, no tu su naravno i neke posebne. Jedna od najkorištenijih u Bluetooth tehnologiji je svakako PIFA (*Planar Inverted-F Antenna*) koja je zapravo poznatija verzija *inverted-F antenna*, a glavna prednost joj je manja dimenzija što je ključna karakteristika kod bežičnih uređaja gdje je potrebno štedjeti na prostoru, a implementirana je kao i mikrotrakasta antena (na tiskanim pločicama). Osim ove verzije, postoji još jedna vrsta, također mikrotrakasta, FICA (*Folded Inverted Conformal Antenna*).

### 3. Nastanak i razvoj Bluetootha

Bluetooth je tehnologija razvijena za bežični prijenos informacija na malim udaljenostima. Ime je povezano s danskim kraljem Harald Blatand-om koji je ujedinio Dansku i Norvešku. Prezime Blatand prevodi se kao Plavi zub (*Blue tooth*), a upravo je to ime uzeto kao kodno ime za projekt kojim je razvijen bežični komunikacijski standard.

Uređaji koji koriste Bluetooth komuniciraju preko radiomodula koji se nalaze na mikročipovima. Cijeli Bluetooth sustav sastoji se od radiomodula, jedinice za omogućavanje odnosno kodiranje komunikacije te HTI-a (*Host Terminal Interface*), odnosno sučelja terminala. HTI je zapravo sučelje između uređaja koji inicira Bluetooth komunikaciju i uređaja koji sudjeluje u prijenosu. Uređaji koji iniciraju Bluetooth komunikaciju mogu biti računalo, mobilni uređaj, pristupna točka za PSTN (*Public Switched Telephone Network*).[10]



Slika 5. Bluetooth mikročip, Izvor: [9]

Godine 1998. grupa tehnoloških kompanija organizirala je specijalnu interesnu grupaciju. Ta grupacija se sastojala od vodećih kompanija u mobilnoj telefoniji te proizvodnji računala i komponenti (Nokia, Toshiba, IBM, Intel, Ericsson). Ova grupacija danas broji više od 30 000 članova. Primarno je stvorena kako bi se osmislio jedinstveni standard za bežičnu komunikaciju koji će biti podržan i jedinstven u cijelom svijetu.[2]

Bluetooth se i danas primjenjuje u svrhu za koju je i razvijen, a to je da zamijeni mnoštvo kabela kod malih uređaja za komuniciranje na manjim udaljenostima kao što je primjerice mobilni uređaj. [10]

Bluetooth modul je ugrađen u mikročipove i radi na frekvencijama koje su standardne diljem svijeta kako bi se osigurala kompatibilnost između različitih uređaja od raznih proizvođača. Bluetooth specifikacije se sastoje od dva sloja pokrivenosti. Prvi sloj sa slabijom snagom koji pokriva manje područje kao što su soba ili neki manji ured i sloj sa jačom snagom zračenja koji pokriva srednju udaljenost kao što su kuća ili veći ured. Oba standarda su ugrađena u mikročip osiguravajući komunikaciju sa samo određenim uređajima u smislu sigurnosti.[10]



Ova tehnologija podržava komunikaciju od točke do točke, kao i od točke prema više točaka, odnosno odredišta, s maksimalno 7 jedinica komunicirajući pritom s uređajem koji inicira komunikaciju. Komunikacija se obavlja u frekvencijskom području od 2,4 GHz i podržava maksimalno 8 uređaja na dijeljenom radiokanalu brzinom od 1 megabit po sekundi (Mb/s) na udaljenosti do 10 metara.[10]

Kako tehnologija napreduje tako je glavni cilj razviti što je manji mogući čip, koji će zauzimati što je manje moguće mjesta u uređaju i trošiti što je manje moguće energije. Isto tako pokušava se razviti određeni standard koji će omogućavati što je bolju i pouzdaniju komunikaciju, ali opet neće biti preskup što bi moglo dovesti do razlika na tržištu budući da je Bluetooth kao takav kompatibilan između uređaja bez obzira na različite brendove. Dakle, razvojem tehnologije pokušava se razviti što je bolji komunikacijski sustav tako da je Bluetooth do danas bio čak 9 puta nadograđivan, a te verzije su:[10]

- Bluetooth 1
- Bluetooth 1.1
- Bluetooth 1.2
- Bluetooth 2.0 + EDR
- Bluetooth 2.1 + EDR
- Bluetooth 3.0 + HS
- Bluetooth 4.0 + LE
- Bluetooth 4.1
- Bluetooth 4.2
- Bluetooth 5.0.

Prva verzija koja je razvijena nazvana je Bluetooth 1.0. Ta verzija je imala dosta problema što je najviše bilo problematično za proizvođače uređaja jer ti uređaji nisu mogli pravilo komunicirati. Verzija 1.0 je uključivala obaveznu Bluetooth hardversku adresu u konekcijskom procesu što je bio veliki nedostatak za određene usluge planirane za rad preko Bluetooth okruženja.[10]

Bluetooth 1.1 je potvrđen kao IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) standard 802.15.1-2002. Ovom verzijom Bluetootha su popravljene brojne poteškoće koje su se javljale u verziji 1.0 te je dodana mogućnost korištenja kanala bez enkripcije. Ovom je verzijom također razvijena mogućnost da se izmjeri snaga primljenog radiovala.[10]

Verzija 1.2 donijela je mnogobrojne mogućnosti naspram prethodnih verzija. Ova verzije je potvrđena kao IEEE Standard 802.15.1-2005. Najvažniji napredak je postignut na području brzine prijenosa podataka i prepoznavanja Bluetooth uređaja. Uvedena je FHSS (*Frequency - Hopping Spread Spectrum*) tehnika prijenosa, o čemu je više napisano u sljedećem poglavlju, kojom se je povećala otpornost na interferencije jer se izbjegavaju zagušene frekvencije. Uvedena su proširene sinkronizirane konekcije koje omogućavaju kvalitetniji glasovni prijenos kao i audio veza dozvoljavajući retransmisije izgubljenih paketa.[10]

Bluetooth 2.0 + EDR verzija je razvijena 2004. Najvažnija karakteristika ove verzije je EDR (*Enhanced Data Transfer*) za brži prijenos podataka. EDR je kombinacija GFSK-a (*Gaussian Frequency Shift Keying*) i modulacije s faznim pomakom PSK (*Phase Shift Keying*). Ova specifikacija je objavljena kao Bluetooth 2.0 +EDR što označava da je EDR izbor.[10]

Bluetooth verzija 2.1 + EDR je prihvaćena od strane Bluetooth grupacije 2007. Ključna karakteristika ove verzije je SSP (*Secure Simple Pairing*) što olakšava uparivanje Bluetooth uređaja istovremeno pružajući zadovoljavajuću sigurnost prilikom prijenosa informacija.[10]

Verzija 2.1 također donosi brojna druga poboljšanja kao što su EIR (*Extended Inquiry Response*) pružajući više informacija prilikom pretraživanja uređaja kako bi se omogućilo bolje filtriranje uređaja prije spajanja kao i jednostavnije pretraživanje koje značajno smanjuje trošenje energije u načinu rada s niskom potrošnjom energije.[10]

Verzija 3.0 je prihvaćena i uvedena 2009. kao Bluetooth v3.0 + HS verzija. Ne koristi direktno Bluetooth link, već je ta konekcija uvedena za „pregovaranje“ i uspostavu dok se brzi prijenos podataka odvija preko 802.11 linka (klasičnog bežičnog standarda). Glavni napredak u ovoj verziji jest Alternative MAC (*Medium Access Control*) što znači da se Bluetooth čip koristi za otkrivanje uređaja te uspostavu konekcije, ali kada je potreban prijenos većih količina podataka koristi se alternativa MAC 802.11 bežičnog standarda. Uređaji koji podržavaju Bluetooth verziju 3.0 bez nastavka + HS obično ne podržavaju prijenos većih brzina već uključuju sve karakteristike prethodnih verzija.[10]

U lipnju 2010. prihvaćena je i uvedena nova verzija Bluetooth-a, Bluetooth 4.0 + LE. Ona uključuje klasične Bluetooth protokole, protokole koji omogućuju brži prijenos podataka 802.11 bežičnih konekcija kao i protokola za smanjenje potrošnje energije. Verzija 4.0 se upravo fokusira na činjenici da je i dalje prisutna velika potrošnja energija. Uvedena je nova vrsta napajanja temeljena na ćelijama, a napravljene su 2 vrste implementacije, s dva i s jednim stanjem te je uvedeno novo ime BLE (*Bluetooth Low Energy*). Glavni ciljevi BLE-a su značajnije smanjiti potrošnju energije i troškove pritom uzimajući u obzir da se zadrži ista jačina signala.[10]

Sljedeća verzija predstavljena je u prosincu 2013. Verzija 4.1 temelji na softverskim poboljšanjima za razliku od prethodnih koje su se više manje temeljile na fizičkim karakteristikama. Glavne značajke koje su uvedene ovom verzijom su: LLTD (*Link Layer Topology Discovery*), protokol za otkrivanje mrežnih topologija, 802.11n PAL (*Protocol Adoption Layer*), ograničavajuće vrijeme otkrivanja uređaja.[10]

U verziji 4.2, koja je puštena u opticaj 2014. godine, sadržane su novosti koji se uglavnom temelje na IoT-u (*Internet of Things*), a glavna postignuća su smanjenje potrošnje energije u sigurnijim konekcijama s produženom veličinom paketa, IPSP (*Internet Protocol Support Profile*) verzija 6 koja ima mogućnost primjene u brojnim pametnim uređajima.[10]

Zadnja verzija, koja je i danas aktualna, je Bluetooth 5 koji je uveden početkom 2016. godine. Poboljšanja uvedena ovom verzijom uključuje povećanje brzina (skoro za dvostruko)

smanjujući opseg djelovanja Bluetooth signala proporcionalno povećanju brzine, SAM (*Slot Availability Mask*) koji služi za sprječavanje interferencija, tako da se izbjegava zauzeti LTE (*Long Term Evolution*) kanal te se tako izbjegava gubitak paketa.[11]

## 4. Modulacija signala i brzine prijenosa

Kao što je već spomenuto u prethodnom poglavlju svaki komunikacijski sustav sastoji se od izvora signala, odašiljača koji dobiveni signal pretvara u oblik pogodan za prijenos ovisno o sredstvu kojim se signal širi te nekog prijammnika koji prima odaslani signal i pretvara ga u oblik pogodan za daljnju komunikaciju. Postupak kojim odašiljač (modulator) pretvara dobiveni signal u oblik pogodan za prijenos nekim određenim medijem zove se modulacija. Dakle, modulacija je postupak utiskivanja dobivenog signala u val nosioc koji je u ovom slučaju elektromagnetski val. Postoje 3 vrste signala koji sudjeluju u procesu modulacije:

- prijenosni signal
- modulacijski signal
- modulirani signal.[12]

Prijenosni signal služi za prijenos, odnosno ima funkciju transporta, a funkcionira tako da se frekvencija prijenosnog signala zbroji s frekvencijom signala koji se želi modulirati, odnosno modulacijsko signala. Dakle, modulacijski signal je signal koji je odaslan od strane nekog izvora i šalje se prema modulatoru gdje se on modulira i šalje kanalom prema prijammniku. Takav signal, odnosno signal koji je kombinacija prijenosnog i moduliranog signala, zove se modulirani signal i dalje se u modulira u prijammniku gdje se izvršava obrnuti proces od modulacije kako bi se dobio izvorni signal koji je upotrebljiv nekom krajnjem korisniku.[12]

Kako tehnologija napreduje tako se mijenja cijeli komunikacijski sustav kojim se prenosi određeni signal što znači i načini prijenosa, tj. moduliranja. Glavna podjela tehnika moduliranja signala ovisi o tome radi li se o analognom ili digitalnom signalu modulacijskom signalu. Analogni modulacijski postupci su:

- modulacija amplitude
- modulacija frekvencije
- modulacija faze.[12]

Kao što i samo ime govori, kod modulacije amplitude, amplituda vala je ta proporcija koja je varijabilna i između ostalog ovisi i o veličini informacije koja se prenosi. Nedostatak modulacije amplitude očituje se u tome što neefikasno koristi snagu s obzirom na to da više od polovine snage koja se potroši na prijenos signala iskoristi prijenosni signal. Frekvencijski opseg kod amplitudnih modulacija dvostruko je veći od modulacijskog signala. Također se javlja problem da prijammnik detektira i pojačava šum te općenito sve elektromagnetske interferencije u jednakom omjeru prema signalu što je opisano pomoću veličine koja se zove omjer signal – šum, koji predstavlja odnos snage signala i snage šuma i najčešće se izražava u decibelima. [12]

Prema [12] formula signala nosioca glasi (1):

$$C(t) = A_c \cos(\omega_c t)$$

gdje oznake imaju slijedeće značenje:

$A_c$  – amplituda vala nosioca

$\omega_c$  – frekvencija vala nosioca

Modulacija frekvencije, kao što i samo ime govori, je vrsta modulacije gdje je frekvencija veličina koja se mijenja. Isto tako može se reći da je modulacija frekvencije postupak utiskivanja informacije u signal nosioc u svrhu prijenosa te informacije tako da se mijenja frekvencija vala. Postoje dvije vrste tehnika koje se primjenjuju u frekvencijskoj modulaciji, direktna koja se postiže utiskivanjem poruke naponski upravljivim oscilatorom, te indirektna gdje je signal podešen da proizvodi fazno modulirani signal koji se koristi kod oscilatora koji koristi mehaničku rezonanciju kristala za proizvodnju signala točno određenih frekvencija.[12]

Prema [12] frekvencija i faza povezane su preko formule (2):

$$f_t = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(t)}{dt}$$

gdje oznake imaju slijedeće značenje:  $f_t$  - trenutna frekvencija

$\varphi(t)$  – trenutna faza

Kod modulacije faze, faza vala je veličina koja se mijenja kod vala nosioca prilikom utiskivanja signala u svrhu prijenosa nekim sustavom. Faza vala nosioca je modulirana tako da prati oscilacije amplitude signala koji se želi prenijeti, a najviša vrijednost amplitude vala nosioca i frekvencija su veličine koje se ne mijenjaju ovom modulacijskom tehnikom. Fazna modulacija ima široku primjenu u prijenosu radiovalova kao integrirani dio većeg digitalnog sustava.[12]

Osim ove tri osnovne modulacijske postoje i kvadraturno amplitudna modulacija, ali i digitalne modulacijske sustave, zatim prostorna modulacija koja se koristi u zrakoplovima kod instrumenata za slijetanje kada je otežana vidljivost.[12]

U digitalne modulacijske tehnike spadaju:

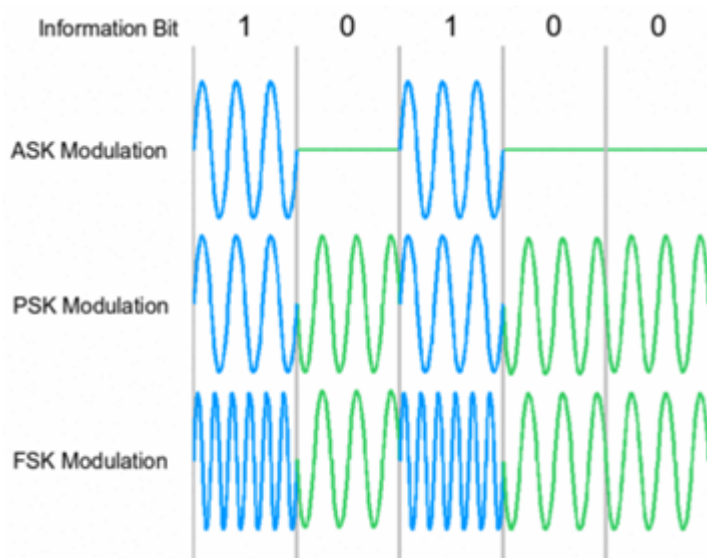
- diskretna modulacija amplitude - ASK (*Amplitude Shift Keying*)
- diskretna modulacija frekvencije - FSK (*Frequency Shift Keying*)
- diskretna modulacija faze - PSK (*Phase Shift Keying*).

Diskretna modulacija amplitude je zapravo forma modulacije amplitude samo što je primjenjiva kod digitalnih signala, ali je princip dosta sličan, dakle amplituda je veličina koja se mijenja kod vala nosioca. Baš kao i amplitudna i ova modulacija je vrlo osjetljiva na vanjske utjecaje kao što su šum, propagacija, distorzija. Diskretna modulacija amplitude se

također koristi i kod prijenosa signala optičkim vlaknima, a u tom slučaju 1 označava signal koji se prenosi, dok stanje 0 označava da ne trenutno ne postoji prijenos.[12]

Diskretna modulacija frekvencije je također principom dosta slična modulaciji faze, znači frekvencija vala nosioca je veličina koja se mijenja no razlika je u signalu koji se prenosi, u ovom slučaju to je digitalni signal. Ova tehnika modulacije je možda i najvažnija, barem kad je u pitanju Bluetooth zato što postoje nekoliko različitih oblika same modulacije koji uključuje i GFSK, koja je osnovni princip prijenosa i moduliranja signala kod Bluetooth komunikacije. GFSK modulacija ima poseban Gaussian-ov filter čija je glavna prednost smanjivanje bočnih snaga, smanjujući i interferencije sa susjednim kanalima povećavajući istovremeno interferenciju između simbola u istim vremenskim intervalima. Osim već spomenute GFSK metode postoji i diskretna modulacija frekvencija s kontinuiranom fazom - CPFSK (*Continuous-phase frequency-shift keying*). CPFSK temelji se na pretpostavci da FSK može biti implementirana pomoću nezavisnih oscilatora. U praksi se najčešće primjenjuje jedan oscilator gdje proces prebacivanja na drugu frekvenciju na početku određenog intervala čuva postojeću vrijednost faze, dakle nema faznog pomaka. S druge strane GFSK umjesto da odmah modulira određenu frekvenciju s digitalnim simbolima mijenjaja pri tome frekvenciju na početku svakog perioda. [12]

PSK (*Phase Shift Keying*) je tehnika modulacije u digitalnim sustavima čija je faza varijabilna veličina kod valova nosioca. Ima široku primjenu kod lokalnih mreža, RFID-a (*Radio-Frequency Identification*) te Bluetootha. PSK koristi određen broj faza te je svakome dodijeljen određeni uzorak bitova. Pojedini uzorak bitova označava simbol koji predstavlja određenu fazu. Bluetooth 2 postiže brzina od 2 Mb/s i 8 – DPSK (*Differential phase-shift keying*) gdje se postižu brzine do 3 Mb/s kada je link dovoljno otporan na smetnje.[12]



Slika 6. Primjer ASK,PSK i FSK modulacije, Izvor: [11]

Osim ove tri osnovne vrste modulacija postoje i: diskretna modulacija amplitude i faze - APSK (*Amplitude and phase-shift keying*) gdje se mijenjaju i faza i amplituda vala nosioca, kontinuirana modulacija faze- CPM (*Continuous phase modulation*) koristi metodu postavljanja faze na 0 na početku svakog simbola i najveća primjena je kod bežičnih modema, kvadraturna modulacija amplitude - QAM (*Quadrature amplitude modulation*) koja spada i pod digitalni, ali i analogni modulaijski proces.[13]

Također postoje i modulacije u proširenom spektru gdje se signal emitira u određenom frekvencijskom području te se s namjerom širi frekvencijskom domenom što rezultira većim frekvencijskim rasponom, a ove modulacije obično se koriste kada se želi uspostaviti sigurna veza, povećati otpornost na interferencije. Postoje nekoliko vrsta, a to su:

- Tehnika s izravnim slijedom u proširenom spektru - DSSS (*Direct-sequence spread spectrum*)
- Tehnika frekvencijskog skakanja u proširenom spektru – FHSS (*Frequency-hopping spread spectrum*)
- Tehnika vremenskog preskakanja u proširenom spektru – THSS (*Time-hopping spread spectrum*).

DSSS se koristi kako bi se smanjila ukupna interferencija prilikom prijenosa signala. Taj signal je zapravo slijed s vrijednostima 1 i -1 na frekvencijama koje su puno više od frekvencije izvornog signala. Glavne prednosti ove modulacije su otpornost na prigušenje, mogućnost dijeljenja jednog kanala između više korisnika, određivanje vremena između odašiljača i prijarnika.[13]

FHSS je metoda prijenosa radiosignala brzom promjenom nosioca između više frekvencijskih područja, kanala. Svako frekvencijsko područje je podijeljeno na više manjih frekvencijskih opsega između kojih se signal vrlo brzo premješta odnosno skače iz jednog frekvencijskog područja u drugo. Jedna od podvrsta FHSS-a je AFH (*adaptive frequency-hopping spread spectrum*), adaptivna tehnika frekvencijskog skakanja u proširenom spektru, koja najširu uporabu ima upravo u Bluetooth tehnologiji. AFH povećava otpornost na razne radiofrekvencijske interferencije tako da se izbjegavaju zagušene frekvencije „skačući“ iz jednog frekvencijskog područja u drugo. Glavna poanta ove tehnike prijenosa jest što bolje iskorištenje dostupnih frekvencija, tako da se koriste povoljne, nezagušene frekvencije, a izbjegavaju se zagušene frekvencije. Što se tiče FHSS-a kod Bluetooth tehnologije prvi put je uvedena u verziji 1.2, a glavna ideja je bila da se frekvencija kanala mijenja periodično. Frekvencija se mijenja skokovima između kanala unutar frekvencijskog opsega kod 2.4 GHz. Ovom tehnikom omogućeno je korištenje 79 kanala, svaki 1 MHz pojasne širine koji su dostupni Bluetooth uređajima na korištenje. FHSS se također koristi kod skeniranja podnosilaca s 32 dostupna kanala između kojih su mogući skokovi pri frekvenciji od 3200 Hz. Također je primjenjiva prilikom istraživanja statusa konekcija, ograničavajući frekvencije skokova na 1600 Hz, ali ima na raspolaganju svih 79 kanala. Brzine prijenosa kod 1.2 verzije koristeći se AFH metodom su dosezale 721 kilobita po sekundi (kb/s). AFH se koristi samo kod otkrivanja statusa konekcija. Riječ adaptivno označava proces promatranja svih kanala kako bi se ispitalo koji su kanali zauzeti, odnosno koji su lošije kvalitete zbog zagušenja i

takvi kanali dobivaju status loših kanala. Kanali koji imaju status loših kanala, nisu na popisu dostupnih kanala osim ako je broj slobodnih kanala manjih od minimalnog broja kanala.[13]

THSS je tehnika kojom se postiže nizak postotak ometanja radiosignala, odnosno postiže se manja vjerojatnost presretanja signala. Kako bi se postigla manja vjerojatnost presretanja, vrijeme prijenosa mijenja se nasumično tako da varira period i ciklus rada nosioca koristeći pseudo slučajan slijed.[13]

Osim ovih standardnih modulacija, Bluetooth tehnologija dosta često koristi kombinacije prethodno spomenutih tehnika modulacije, a koje se tehnike koriste varira od verzije do verzije. Tako se već u verziji 2.0 +EDR postižu brzine do 3 Mb/s koristeći se kombinacijom GFSK-a i PSK-a. GFSK koristi Gaussov filter kojim se podaci filtriraju umjesto standardne metode gdje se na početku svakom perioda, simbola mijenja frekvencija. Glavna prednost ovog filtera je ta što može reducirati snagu pritom smanjujući interferencije između susjednih kanala, što povećava interferenciju između simbola. Ova modulacije se razlikuju od frekvencijske po tome što se prije formiranja klasičnog prijenosnog valnog oblika koristi FSK modulator, pritom prolazeći kroz Gaussianov filter kojim se zapravo limitira spektralna širina. Verzijom 3.0 se već postižu brzine do 24 Mb/s zahvaljujući posebnom modelu koji omogućuje da se promet odvija preko klasičnog 802.11 standarda koji se danas najčešće koristi u bežičnim lokalnim mrežama, dok je Bluetooth link služio za uspostavljanje konekcija i uparivanje uređaja. Što se tiče brzina u sljedećim verzijama one su uglavnom pratile razvoj 802.11 standarda počevši od 802.11a pa sve do 802.11ag. Danas su već u razvoju i verzije ax, ay, az koji će podržavati prijenos brzine do 20 gigabita po sekundi (Gb/s).[13]

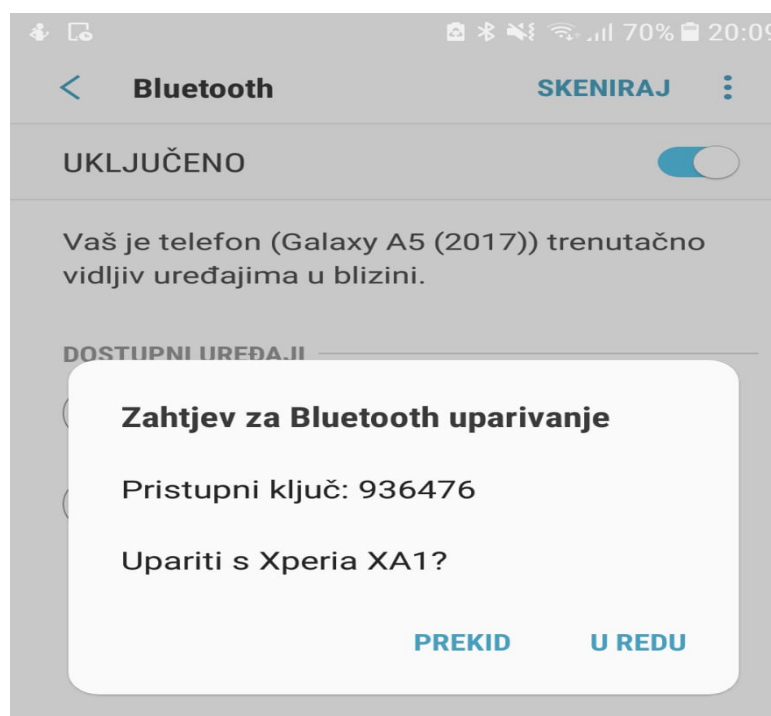


## 5. Primjena Bluetooth tehnologije i sigurnost

Primjena Bluetooth tehnologije je od samog početaka, zbog brojnih prednosti, postala vrlo popularna s obzirom na to da su brojni uređaji postali pristupačniji. Iako na početku domet komunikacije nije bio velik, napretkom tehnologije i to se promijenilo pa se tako danas može komunicirati preko Bluetooth linka na udaljenosti do 100 metara, što je naravno gornja granica i ovisi o puno parametara, ali taj napredak donio je Bluetooth-u još veću popularnost pa je danas gotovo nezamislivo imati neki uređaj koji nema mogućnost komunikacije preko Bluetooth linka. U nastavku poglavlja se nalaze neke od najčešćih primjena Bluetooth u uređajima, a zbog svoje široke primjene teško je pobrojati sve.[15]

### 5.1 Primjena Bluetooth tehnologije

Jedna od najčešćih primjena Bluetooth tehnologije je u mobilnim uređajima. Da bi se uspostavila komunikacija između dva uređaja, oba moraju imati mogućnost komuniciranja preko Bluetooth linka. Dakle, kako bi se dva ili više uređaja međusobno uparila, inicijator komunikacije mora upaliti Bluetooth na svojem uređaju i tako javlja ostalim uređajima u svojoj blizini da je dostupan za komunikaciju. Drugi uređaji također za početak trebaju uključiti Bluetooth, ali oni s obzirom na to da se žele povezati s drugim uređajem trebaju pretražiti okolinu, odnosno skenirati uređaje u okolini kako bi „otkrili“ željeni uređaj za uparivanje, a na kraju da bi se uspostavila komunikacije potrebno je upisati pristupni ključ koji još jedna od mnogobrojnih prednosti Bluetooth tehnologije s obzirom na to da osigurava izuzetno sigurnu komunikaciju. Također je vrlo važno da oba uređaja budu vidljiva okolnim uređajima kako bi se uopće pojavili na listi dostupnih uređaja.[15]



Slika 7. Uparivanje Bluetooth uređaja

Inačica koja je vrlo brzo postala popularna jesu Bluetooth slušalice, odnosno kombinacija slušalica i mikrofona. U ovom slučaju se slušalice ponašaju kao i prijamnik i odašiljač. Da bi se uspostavila Bluetooth komunikacija potreban je neki uređaj s kojim bi se slušalice uparile, a to naravno može biti mobitel, računalo i drugi uređaji. S obzirom na to da se radi o uređajima koji ne koriste žice, glavni problem je napajanje koje je i danas vrlo limitirano pa se s vremena na vrijeme baterije iznova moraju staviti puniti ili zamijeniti. Najveća udaljenost na kojoj se može postići komunikacija između slušalica i uparenog uređaja danas uglavnom iznosi maksimalnih 100 metara. Kvaliteta zvuka koji se prenosi Bluetooth linkom je vrlo dobra, ali se javlja problem interferencija, a metode kojim se to pokušava svesti na minimum opisane su u prethodnom poglavlju.[14]



Slika 8. Primjer Bluetooth slušalica, Izvor: [23]

Osim slušalica, postoje i zvučnici koji također mogu komunicirati s ostalim uređajima preko Bluetooth tehnologije. Kao i svaka ostala Bluetooth komunikacija, tako je i zvučnike potrebno upariti s uređajem koji bi odašiljao zvuk preko radiovalova. Nakon što primi signal od radiovala zvučnih taj signal pretvori nazad u izvoran oblik informacije, u ovom slučaju zvuk koji se zatim preko pojačivača signala emitira slušatelju.[16]



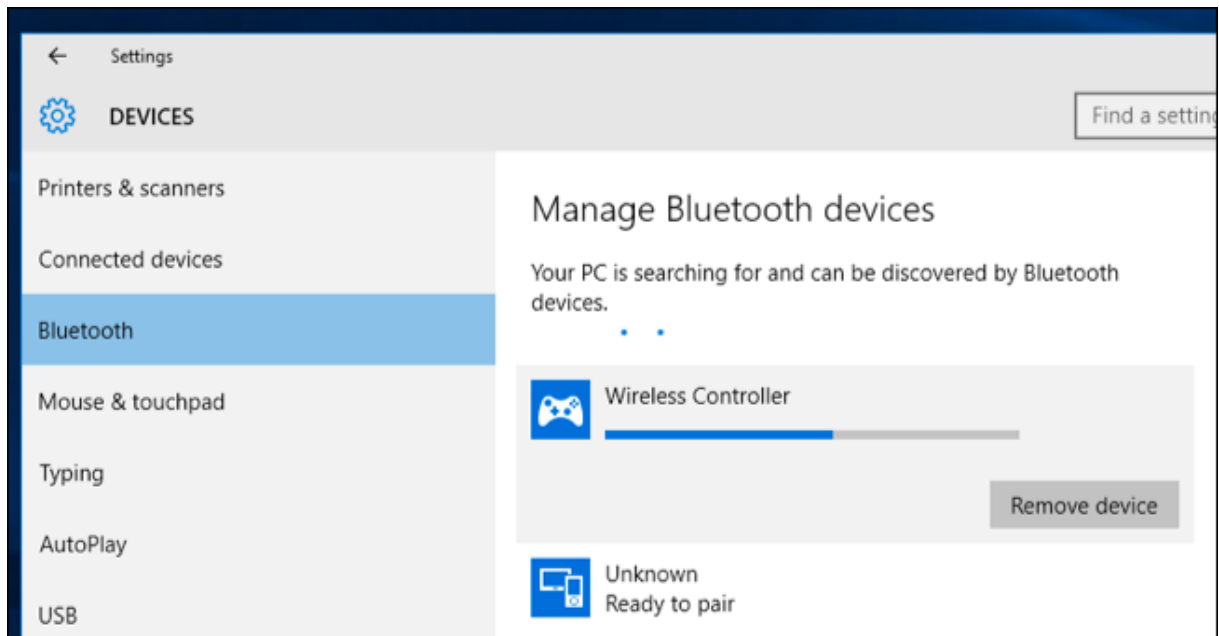
Slika 9. Bluetooth zvučnik, Izvor: [24]

Još jedna vrlo česta primjena jesu bežični tipkovnica i miš. Uglavnom se koriste za stolna računala i laptope, ali i kod prijenosnih uređaja poput telefona i tableta. Bluetooth miš i tipkovnica postali su popularni 2011. godine, kada je i većina bežičnih uređaja postala sve primjenjivija. Većina Bluetooth tipkovnica (u centralnoj Europi) ima klasični Qwertz, iako je i Qwerty (nalazi se na slici ispod) raspored poprilično raširen, a glavni je problem što su takve tipkovnice kompatibilne samo za neke operativne sustave (Android, iOS, Windows, Linux).[17]



Slika 10. Bluetooth tipkovnica, Izvor: [25]

Osim navedenih, još se i koristi povezivanje bežičnih kontrolera s pripadajućim uređajima. Ovisno o vrsti uređaja s kojim se povezuje postoji sklopka koja se pomiče ovisno o vrsti konfiguracije, a uparivanje s drugim uređajem obično se vrši tako da se upali gumb za napajanje, a postoji i poseban gumb za ulazak u stanje za uparivanje s drugim uređajem. Jednom kada su uređaji uspješno upareni upalit će se za to namijenjen indikator na uređaju.[18]



Slika 11. Uparivanje Bluetooth kontrolera, Izvor: [18]

Naravno, postoje i brojne druge primjene poput povezivanje računala s printerom, za povezivanje s uređajima za dohvaćanje lokacije ili trenutno pozicije, sa sustavima za praćenje prometnog zagušenja odnosno procijene vremena putovanja koje funkcionira tako da postoje senzori koji prikupljaju podatke preko Bluetooth linka od koji se prikupljaju s vozačevih uređaja.

## 5.2 Sigurnost Bluetooth tehnologije

Kao što je vidljivo iz prethodno spomenutih primjera, Bluetooth se koristi svugdje oko nas pa se i javlja pitanje koliko je zapravo ta komunikacija sigurna. Još na početku ovog poglavlja spomenut je poseban ključ koji služi kao zaštita između povezivanja dva mobilna uređaja što jamči poprilično sigurnu komunikaciju. Naravno, koliko je sigurna neka komunikacija ovisi o udaljenosti između dva uređaja, odnosno što je ona veća, veća je opasnost da treća strana dođe do informacija do kojih ne bi smjela doći. [19]

Kod Bluetooth tehnologije, postoje zaštita na razini usluge te zaštita na razini uređaja koje kombinirano djeluju kako bi se spriječili pokušaji neovlaštenog prijenosa podataka. Te metode zaštite uključuju autorizaciju i identifikaciju koje omogućuju korisnicima da donesu ispravnu odluku s kojim uređajima žele komunicirati. Osim ovih metoda postoji i puno jednostavnija koja uključuje mogućnost većine uređaja da se postave u način rade da nisu vidljivi drugim uređajima.

Postoji nekoliko metoda napada kod Bluetooth tehnologije, a to su:

- Bluejacking
- Bluesnarfing
- Bluebugging
- Car Whisperer
- Bluesniping.[19]

Bluejacking je vrsta napada koja uključuje slanje obične poruke, odnosno poslovnih kartica prema ostalim korisnicima unutar oko 10 metara radijusa. Problem leži u tome što krajnji korisnik ne može primijetiti od koga dolazi poruka i tako dozvoliti komunikaciju, dodati taj kontakt u imenik što bi omogućilo automatsko otvaranje poruka s obzirom na to da se u tom slučaju radi o poznatoj komunikaciji (kontaktu).[19]

Bluesnarfing je naziv za neovlašteno pristupanje informacijama putem uređaja koji kao jedan od načina komuniciranja koriste Bluetooth link. Da bi se napad izvršio uređaji moraju biti vidljivi drugima, iako to nije glavni uvjet obzirom da su danas razvijeni i programi koji mogu napasti čak i uređaje koji nisu javno vidljivi u okolini već se sam napad vrši preko MAC adrese ciljanog uređaja. Bluesnarfing napad je vrlo opasan i može prouzročiti velike štete za žrtvu napada s obzirom na to da putem njega napadač može kopirati datoteke s napadnutog uređaja.[19]

Bluebugging je napad gdje upravljanje nad uređajem preuzima drugi korisnik koji neovlašteno želi doći do određenih informacija, što izvršava tako da iskoristi nepažnju korisnika koji bi dozvolio pristup napadačevoj opremi. Ovim napadom se mogu preslušavati pozivi, ali i još opasnije, preusmjeravati tako da bi se poziv obavljao s trećom stranom.[19]

Car Whisperer je naziv za poseban program koji ima mogućnost slanja i primanja zvučnog zapisa prema i od uređaja na kojima je uključen Bluetooth i koji su, naravno, vidljivi. Ovaj program iskorištava sigurnosne nedostatke, a razvijen je zahvaljujući brzo tehnološkom napretku.[19]

Bluesniping je oblik napada gdje se otkrivaju uređaji koji imaju mogućnost komunikacije preko Bluetooth tehnologije na puno većim udaljenostima nego je to uobičajeno.[19]

## 6. Srodni komunikacijski WPAN protokoli

WPAN (Wireless personal area network) je bežična mreža čiji opseg pokrivenosti odgovara nekom osobnom prostoru, a tehnologije koje se koriste za komunikaciju u takvim mrežama uz Bluetooth su:

- IrDA
- ZigBee
- IEEE 802.15
- Z-wave.[1]

### 6.1 IrDA

IrDA (Infrared Data Association) je ime za grupaciju više kompanija koja propisuje standarde i ostale specifikacije koje se odnose na prijenos preko infracrvenog prijenosa. Glavna prednost su siguran i vrlo efikasan prijenos podataka. Kao što i samo ime govori infracrveni prijenos koristi infracrveno zračenje koje je za ljudsko oko nevidljivo, ali se može osjetiti kao toplina. Glavne karakteristike ovakvog načina prijenosa su vrlo malo područje pokrivenosti koje iznosi maksimalno 1 metar, no to je u praksi manje, ovisno o tehnici i modulaciji brzina prijenosa može varirati od 512 kb/s do 500 Mb/s. S obzirom na to da zahtjeva optičku vidljivost ova tehnologija nije dugo zaživjela te su je već početkom 2004. zamijenili Bluetooth, a kasnije i WLAN (Wireless local area network).[20]

### 6.2 ZigBee

ZigBee je posebna tehnologija zasnovana na IEEE 802.15.4 specifikaciji. ZigBee modul napravljen je u svrhu povezivanja više uređaja u neku manju mrežu koja bi pokrivala opseg tako da odgovara WPAN standardu, a da pritom ima nisku potrošnju energije, a uz to ne zauzima veliki frekvencijski opseg. Ova tehnologija ima opseg pokrivenosti do 100 metara, 150 metara te zahtijeva optičku vidljivost. Postoji opcija da se podaci prenesu na veću udaljenost tako da se upari više ZigBee modula u jednu mrežu. Obično se koristi kod uređaja koji zahtijevaju nisku potrošnju energije i siguran prijenos.[21]

Prema standardnim specifikacijama komunikacija se odvija u rasponu od 2,4 do 2,4835 GHz što može varirati ovisno o državi, a u tom rasponu smješteno je 16 različitih kanala s razmakom od 5 MHz između svakog pritom koristeći DSSS (Direct-sequence spread spectrum) modulaciju što znači brzinu prijenosa od 250 kb/s po kanalu na području od 2.4 GHz.[21]

Postoje tri vrste ZigBee modula: ZigBee Coordinator, ZigBee Router i ZigBee End Device. ZigBee Coordinator ima najviše mogućnosti, gdje takozvani Coordinator formira mrežu koja ima topologiju stabla koja može biti povezana s ostalim mrežama. U svakoj od tih mreža nalazi se točno jedan ZigBee Coordinator s obzirom na to da su u njemu pohranjeni svi važni mrežni podaci kao i sigurnosni i zaštitni ključevi. ZigBee Router se ponašao kao i usmjerivač u lokalnim mrežama, što znači da prosljeđuje informacije koje dobije od ostalih uređaja unutar mreže dok ZigBee krajnji (terminalni) uređaj komunicira s glavnim čvorovima

(Coordinator), ali ne i s ostalim uređajima što omogućava glavnim čvorovima da budu u stanju pripravnosti što smanjuje potrošnju energije.[21]

Što se tiče sigurnosti kod ove tehnologije, ona radi sa 128 bitnim ključevima za enkripciju podataka. Taj ključ može biti povezan direktno sa mrežom ili vezom. Uspostava veze se temelji na glavnom ključu koji kontrolira cijelu komunikaciju. Dakle, ključ je temelj cijele arhitekture i ne smiju se prenositi nesigurnim kanalima.[21]

Tipična primjena ove tehnologije je u:

- industriji
- prikupljanju medicinskih podataka
- alarmnim sustavima
- indikatorima za nadzor dima.[21]

### **6.3 IEEE 802.15**

802.15 je podgrupa standardnog protokola 802 osnovan krajem 90-ih od strane IEEE organizacije s namjerom da se orijentira na bežične protokole na manjim udaljenostima (WPAN). Glavna prednost su: niska potrošnja energije, nije potrebno investirati puno sredstava, radi na više mreža i uređaja istovremeno. Kao i slični protokoli ima opseg djelovanja do 10 metara. 802.15. standard podijeljen je na 4 osnovne grupacije: 802.15.1, 802.15.2, 802.15.3, 802.15.4.

802.15.1 je zapravo temeljen na Bluetooth tehnologiji, a primarna funkcija mu je brinuti o fizički parametrima prilikom povezivanja uređaja međusobno u mrežu, prvenstveno MAC adrese. 802.15.2 brine o međudjelovanju više uređaja unutar jedne mreže, obzirom da dosta uređaja u WPAN, odnosno WLAN mrežama rade na istim frekvencijama, što je i glavna zadaća ove grupacije, a bavi se potencijalnim smetnjama uzrokovanih raznih interferencijama odnosno međudjelovanjima dva ili više uređaja koji rade na istim frekvencijama. 802.15.3 protokol zadužen je za prijenos podataka većim brzinama, a do sada je usavršavan nekoliko puta, a zadnja verzija je puštena 2009. godine. 802.15.3 i dostupan je u 3 verzije: s jednim nosiocem (podržava brzine do 5,3 Gb/s), sučelje za brži prijenos (podržava prijenos do 5 Gb/s po jednom nosiocu), audio/vizualni način rada koji podržava brzine do 3,8 Gb/s. 802.15.4. se bavi manjim kompleksniji uređajima, koji obično funkcioniraju na manjim udaljenostima, obično ne zahtijevaju veliku propusnu moć te imaju nisku potrošnju energije kao što su senzori, razni tagovi, uređaji u pametnim kućama.

### **6.4 Z-wave**

Z-wave je naziv za bežični komunikacijski protokol koji je primarno stvoren za primjenu unutar pametnih kuća. Sastoji se od više međusobno povezanih čvorova koji čine zajedničku mrežu unutar pametne kuće i omogućuje komunikaciju između raznih kućanskih aparata, senzora, sigurnosnog sustava, prozora i slično. Čvorovi su međusobno povezani u mesh topologiju što znači da su svi povezani pa tako čvor A i C mogu komunicirati iako nisu direktno povezani što omogućuje puno veći domet ovoj tehnologiji, a novi čvorovi se uvijek

mogu dodati u mrežu iako prvotno nisu bili planirani, što se ostvaruje takozvanim uparivanjem uređaja odnosno povezivanjem glavnog (kontrolnog) i novog čvora. Ima nisku potrošnju energije što je se postiže posebno dizajniranim čipovima koji se, kad ne rade, nalazi u stanju štednje energije.[23]

Ova tehnologija je primarno razvijena kako bi omogućila komunikaciju unutar pametnih kuća bez pogrešaka prilikom prijenosa, s brzinom prijenosa od 100 kb/s. Radi na frekvencijskom području 800-900 MHz na kojoj rade neki telefoni, ali izbjegava interferenciju s puno češće korištenijim tehnologijama poput Bluetooth-a i Wi-Fi-a koji primarno rade na frekvencijskom području 2,4 GHz.[23]

Što se tiče sigurnosti, koja je vrlo važna kod ove tehnologije s obzirom na to da se primjenjuje u domovima, u samim počecima nije bila u potpunosti na razini jer su postojali brojni nedostaci koji su primjerice omogućavali vrlo jednostavan upad u sigurnosni sustav osobama koje nemaju pristup. Ti nedostaci riješeni su zadnjim sigurnosni standardnom, nazvanim Security 2, koji podupire postojeću enkripciju te zahtjeva posebno autorizaciju prilikom uparivanja novih čvorova s posebni kodovima.[23]



## 7. Zaključak

Još od samih početaka, kada je Bluetooth tehnologija imala brojne nedostatke, imala je široku primjenu što je razvojem tehnologije uspješno rješavano kroz novije verzije Bluetootha. Verzija 3.0 je trenutno najčešće korištena i implementirana u uređaje, dok se zadnja verzija tek počela uvoditi u nove uređaje. Zahvaljujući usmjerenim antenama, ali i ovisno o vrsti modulacije koja se koristi, domet ove tehnologije bude od prosječnih 10 metara pa sve do maksimalnih 100 metara, što uvelike doprinosi da ova tehnologija ne padne u zaborav. Naravno, tu se javlja problem sigurnosti. Što je veća udaljenost, veća je vjerojatnost od pojave interferencija, no to je sve prihvatljivo s obzirom na jednostavnost ove tehnologije i kvalitetu signala koja se prenosi. Ipak, bez obzira na brojne prednosti, kako je rasla popularnost WLAN-a, istodobno je Bluetooth tehnologija pala u drugi plan. Kako je prijenos putem Bluetooth linka u ranijim verzijama dosegno neki maksimum što se tiče brzina prijenosa, odnosno kapaciteta prijenosa, ova tehnologija je postajala sve manje korištena i s obzirom na to da se baš i nije prilagođavala potrebama na tržištu, izuzev naravno potrošnje baterije. Tako je razvijena verzija 3.0 koja je kao opciju za prijenos imala klasičan 802.11 link koji se koristi u WLAN mrežama, što je uvelike povećalo propusne mogućnosti Bluetooth-a, a samim time i zadržalo konkurentnost. Počevši od skromnih kapaciteta prilikom prijenosa od svega 721 kb/s danas se već postižu gigabitne brzine, a već 2019./2020. se planira razvoj 802.11 ay protokola koji bi podržavao brzine do 20 Gb/s. Danas postoji široka paleta uređaja koji imaju primjenu Bluetooth tehnologije, od raznih uređaja za računalo poput bežičnih tipkovnica, miševa, slušalica, do raznih kućanskih aparata poput čistača podova, digitalnih satova, a kombinacijom arduino pločica i Bluetooth čipova te kontrolera primjena je skoro pa neograničena. Danas već postoje i brojne druge bežične tehnologije, sličnih primjena kao i Bluetooth, ali i tehnologije razvijene isključivo za jednu svrhu, poput Z-wave-a, čije je jedina namjena unutar pametnih kuća kako bi povezivala razne senzore, aparate, nadzorni i sigurnosni sustav. SIG (Special Interest Group) grupacija koja predstavlja skup poduzeća koji se bave bežičnim tehnologijama, a primarno su orijentirani na Bluetooth, a donose brojna pravila i aktualizacije Bluetooth-a radi veliki posao u održavanju Bluetooth tehnologije konkurentnom i definitivno sa tolikim brojem prednosti u odnosu na konkurenciju, Bluetooth tehnologija će zasigurno još duži period biti korištena u još više uređaja kako se koncept pametnih uređaja bude razvijao i širio.

## Literatura

- [1] Rogers G. S., Edwards J., An Introduction to Wireless Technology, Prentice Hall, New Jersey 2003.
- [2] Wave, 2009., dostupno na: <https://www.britannica.com/science/wave-physics> (pristupljeno: 26.4.2018.)
- [3] Seybold J. S., Introduction to RF Propagation, John Wiley & Sons, New Jersey 2005.
- [4] Stutzman W. L., Thiele G. A., Antenna Theory and Design, John Wiley & Sons, New Jersey 2012.
- [5] Reflector Antennas, 2010., dostupno na: <https://www.cv.nrao.edu> (pristupljeno: 28.6.2018)
- [6] Monopole antenna, 2015., dostupno na: <http://www.microwavetools.com/monopole/> (pristupljeno: 15.5.2018.)
- [7] Dipole antennas, 2018., <https://www.nextfpv.com.au/products/ibcrazy-433mhz-semi-rigid-dipole-antenna> (pristupljeno: 17.5.2018.)
- [8] Yagi Antennas, <http://www.radio-electronics.com/info/antennas/yagi/yagi.php> (pristupljeno: 17.5.2018.)
- [9] Microchip, <https://www.microchip.com/ParamChartSearch/Chart.aspx?branchID=12094> (pristupljeno 18.5.2018.)
- [10] Bluetooth basics, <https://www.bluetooth.com/bluetooth-technology> (pristupljeno: 20.5.2018.)
- [11] Bluetooth SIG working group, Bluetooth 5.0 core specifications, 2016.
- [12] Haykin S., Moher M., Introduction to Analog and Digital Communications, , John Wiley & Sons 2007.
- [13] Madhow U., Fundamentals of digital communication, Cambridge university press 2008.
- [14] Fredrick, H., How Does a Bluetooth Headset Work?, dostupno na: <http://smallbusiness.chron.com> (pristupljeno: 20.6.2018.)
- [15] Hoffman C., How to Pair a Bluetooth Device to Your Computer, Tablet, or Phone, 2016., dostupno na: <https://www.howtogeek.com/214185/beginner-geek-how-to-pair-devices-over-bluetooth/> pristupljeno (22.6.2018.)
- [16] CHOOSING BETWEEN BLUETOOTH AND WI-FI, WHICH IS BETTER?, dostupno na: <http://www.speakerdigital.com/choosing-bluetooth/> (pristupljeno: 22.6.2018.)
- [17] How Does a Wireless Keyboard and Mouse Work?, dostupno na: <https://techspirited.com/how-does-wireless-keyboard-mouse-work> (pristupljeno: 23.6.2018.)

- [18] Hoffman C., How to Use the PlayStation 4's DualShock 4 Controller for PC Gaming, 2016., dostupno na: <https://www.howtogeek.com/240152/how-to-use-a-playstation-4s-dualshock-4-controller-for-pc-gaming/> (pristupljeno: 24.6.2018.)
- [19] Ranjivost Bluetooth tehnologije, dostupno na: <https://www.cis.hr/www.edicija> (pristupljeno 26.6.2018.)
- [20] Morozhenko V., Infrared Radiation, InTech, Rijeka 2012.
- [21] What is ZigBee, 2015., dostupno na: <http://www.trustedreviews.com/news/what-is-zigbee> pristupljeno (27.7.2018.)
- [22] IEEE 802.15 WPANTM, 2003., dostupno na: <http://www.iee802.org> (pristupljeno 28.6.2018.)
- [23] Frenzel L., What's The Difference Between ZigBee And Z-Wave?, 2012., dostupno na: <http://www.electronicdesign.com/communications/what-s-difference-between-zigbee-and-z-wave> (pristupljeno 29.6.2018.)
- [24] Bluetooth headphones, dostupno na: <https://www.trustedreviews.com/best/wireless-headphones-bluetooth-3450127> (pristupljeno: 7.7.2018.)
- [25] Bluetooth speakers, dostupno na: <https://www.wirerealm.com/guides/top-10-best-wireless-speakers> (pristupljeno: 7.7.2018.)
- [26] Best wireless keyboards, dostupno na: <https://www.digitaltrends.com/computing/best-wireless-keyboards/> (pristupljeno: 7.7.2018.)

## Popis kratica

- AFH (*Adaptive Frequency Hopping Spread Spectrum*) adaptivna spektralna modulacija
- APSK (*Amplitude and Phase Shift Keying*) amplitudno fazna modulacija
- CPM (*Continuous Phase Modulation*) modulacija faze
- DQPSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*) kvadratura fazna modulacija
- DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) direktna spektralna modulacija
- EDR (*Enhanced Data Transfer*) tehnika kojom se postižu veće brzine prijenosa (oko 3Mbit/s)
- EIR (*Extended Inquiry Response*) sustav za prikazivanje opširnijih informacija o uređajima s mogućnošću komuniciranja preko Bluetooth-a
- FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) modulacija sa skokovitom promjenom frekvencije
- FICA (*Folded Inverted Conformal Antenna*)
- FSK (*Frequency Shift Keying*) modulacija frekvencije kod digitalnih signala
- GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*) vrsta frekvencijske modulacije
- HTI (*Host Terminal Interface*) terminalno sučelje
- IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) Institut inženjera elektrotehnike i elektronike
- IoT (*Internet of Things*) internet stvari
- IPPF (*Internet Protocol Support Profile*) Internet protokol
- IrDA (*Infrared Data Association*) grupacija koja se bavi proučavanjem infracravnog prijenosa
- ITU (*International Telecommunications Union*) međunarodna telekomunikacijska unija
- LLTD (*Link Layer Topology Discovery*) protokol za otkrivanje mrežnih topologija
- LTE (*Long Term Evolution*) četvrta generacija mobilnih mreža
- MAC (*Medium Access Control*) adresa koju ima svaki mrežni uređaj
- MSK (*Minimum Shift Keying*) digitalna modulacija s pomakom
- PIFA (*Planar Inverted-F Antenna*) antena za bežične komunikacije

PSK (*Phase Shift Keying*) modulacija s faznim pomakom

PSTN (*Public Switched Telephone Network*) javna telefonska mreža

QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) kvadraturno amplitudna modulacija

RFID (*Radio Frequency identification*) radiofrekvencijska identifikacija

SAM (*Slot Availability Mask*) algoritam za sprječavanje interferencija

SIG (*Special Interest Group*) Bluetooth organizacija

SSP (*Secure Simple Pairing*) algoritam za uparivanje uređaja

WLAN (*Wireless Local Area Network*) bežična lokalna mreža

WPAN (*Wireless Personal Area Network*) bežična mreža manjeg opsega

## Popis slika

Slika 1. Osnovne veličine valova .....	4
Slika 2. Prikaz unipol antene, Izvor: [6].....	7
Slika 3. Primjer dipol antene, Izvor: [7] .....	8
Slika 4. Yagi antena, Izvor: [8] .....	9
Slika 5. Bluetooth mikročip, Izvor: [9] .....	10
Slika 6. Primjer ASK,PSK i FSK modulacije, Izvor: [11] .....	16
Slika 7. Uparivanje Bluetooth uređaja.....	19
Slika 8. Primjer Bluetooth slušalica, Izvor: [23] .....	20
Slika 9. Bluetooth zvučnik, Izvor: [24] .....	21
Slika 10. Bluetooth tipkovnica, Izvor: [25] .....	21
Slika 11. Uparivanje Bluetooth kontrolera, Izvor: [18].....	22

## Popis tablica

Tablica 1. Prikaz radiospektra .....	4
--------------------------------------	---



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom **KOMUNIKACIJSKE SPOSOBNOSTI I PRIMJENA BLUETOOTH**  
**TEHNOLOGIJE**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom  
repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 6.9.2018.

Student:

*Antonio Srećid*

(potpis)