



BLUETOOTH

Bluetooth tehnologija razvijena je za bežično povezivanje (RF veze kratkog dometa) prijenosnih i stolnih računala, računalnih opreme, mobilnih telefona, kamera i drugih digitalnih uređaja na kratkim udaljenostima uz minimalnu potrošnju.

Udaljenosti na kojima komuniciraju uređaji su do 10m (snaga odašiljanja 1mW), a s većom snagom odašiljača mogu biti i do 100m. Koristi se ISM (Industrial-Scientific-Medicine) nelicenciran frekvencijski pojas od 2.4GHz do 2.4835GHz i koristi FHSS modulacijsku tehniku.

Razvoj Bluetooth bežične tehnologije započeo je Ericsson 1994. godine. SIG (Special Interest Group) grupa stručnjaka (Ericsson, IBM, Intel, Nokia i Toshiba) za razvoj i standardizaciju Bluetooth sučelja formirana je 1998. godine i danas broji do 2000 članova. Specifikacija Bluetooth tehnologije objavljena je 1999. godine, a 2002. godine Bluetooth standard usvojila je IEEE 802.15.1 radna grupa za standardizaciju osobnih mreža PAN (Personal Area Network).

Bluetooth specifikacija definira Bluetooth protokol stack (Transport Protocol, Middleware Protocol i Application) za prijenos podataka. Standardom su definirane dvije vrste fizičkih veza: sinkrona veza za prijenos govornog signala visoke kvalitete (SCO – Synchronous Connection Oriented link) i asinkrona veza za prijenos korisničkih i upravljačkih informacija (ACL – Asynchronous Connectionless link).

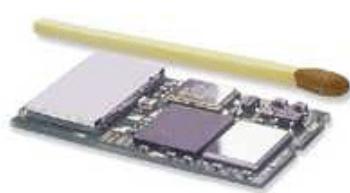
Bluetooth komunikacijom se izgrađuju takozvane piconet mreže koje se sastoje od dva ili više bežično povezanih (ad-hoc) uređaja (maksimalno 8). Unutar svakog piconet-a postoje više "slave" jedinica i jedna "master" jedinica koja upravlja njima. Više piconet mreža (maksimalno 10) međusobno se povezuje u scatternet mrežu.

Zaštita Bluetooth tehnologije ima više razina: jedinstvena IEEE MAC adresa (48 bita) uređaja, FHSS tehnika i sigurnosni protokol koji zahtijeva dva ključa (autentikacijski i enkripcijski).

Naziv Bluetooth preuzet je od danskog kralja Haralda Bluetootha (910.-940.) koji je u 10 stoljeću ujedinio zaraćena vikinga plemena između Danske i Norveške.

Što je to Bluetooth?

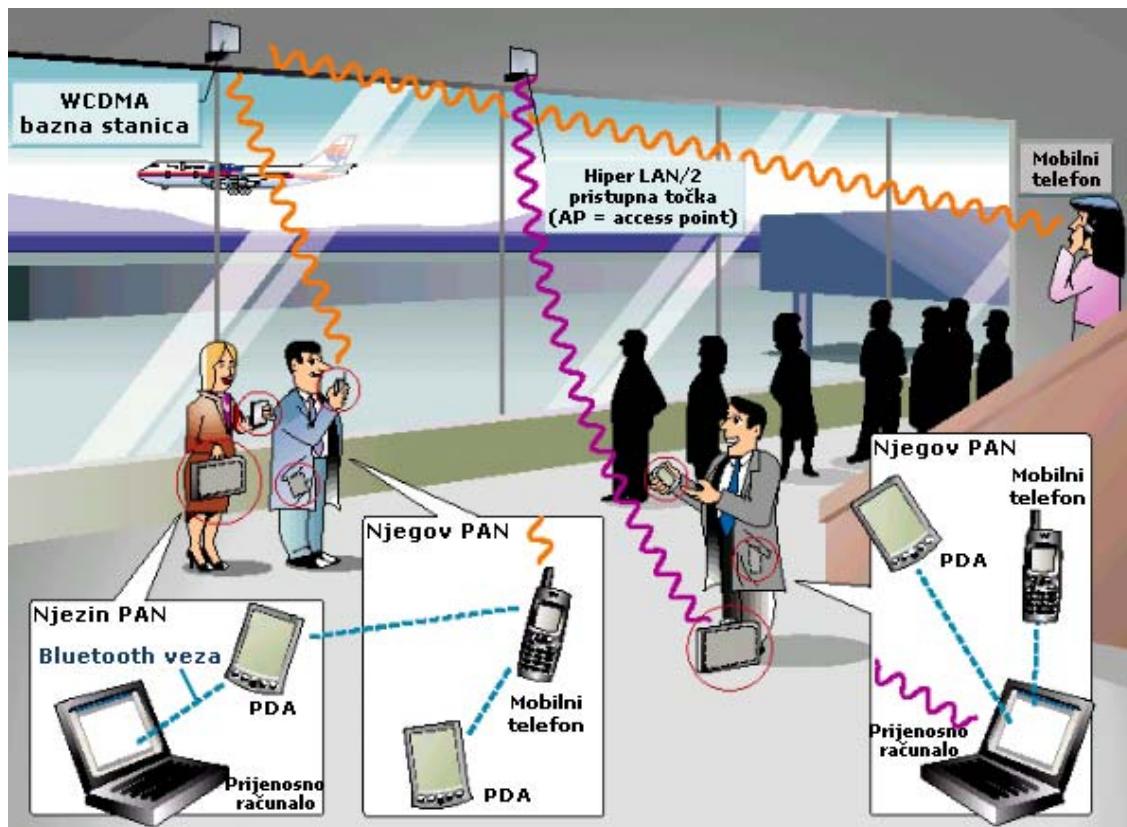
"Bluetooth" je naziv za bežični prijenos podataka i govora, namijenjen za malu potrošnju i jeftine bežične komunikacije na manje udaljenosti. Omogućuje povezivanje prijenosnih i stolnih računala, računalne opreme, mobilnih telefona, kamera i drugih digitalnih uređaja.



U svojoj osnovi, Bluetooth se ostvaruje mikročipom koji koristi radio prijenos kratkog dometa (nije potrebna optički vidljiva linija) za prijenos informacija. Mikročip se ugrađuje u uređaj (kamera, tipkovnica, slušalice, mobilni telefon, itd.) ili se spaja preko univerzalne serijske sabirnice (eng. USB – Universal Serial Bus), serijskog priključka ili PC kartice. Brzine prijenosa podataka su do 1Mbps, a efektivna brzina



je do 721 kbps. Realna udaljenost do koje radi Bluetooth tehnologija je ~10m, ali uz veću snagu odašiljanja ta se udaljenost može povećati i do 100m.



SI.1. Primjer korištenja Bluetooth tehnologije

Kako Bluetooth radi?

Bluetooth uređaji rade u ISM (*Industrial-Scientific-Medicine*) frekvencijskom pojasu od 2.4 GHz do 2.4835 GHz. Za korištenje ISM pojasa nije potrebna dozvola (otvoren je svakom korisniku) i ne plaća se naknada. To znači i da je spektar napućen korisnicima, pa se radio sustavi moraju projektirati tako da se lako nose s problemima interferencije i promjene jakosti signala tijekom prijenosa. Ti problemi rješavaju se upotrebom modulacijske tehnike frekvencijskog preskakivanja s raspršenim spektrom (FHSS – *Frequency Hopping Spread Spectrum*).

FHSS modulacijska tehnika

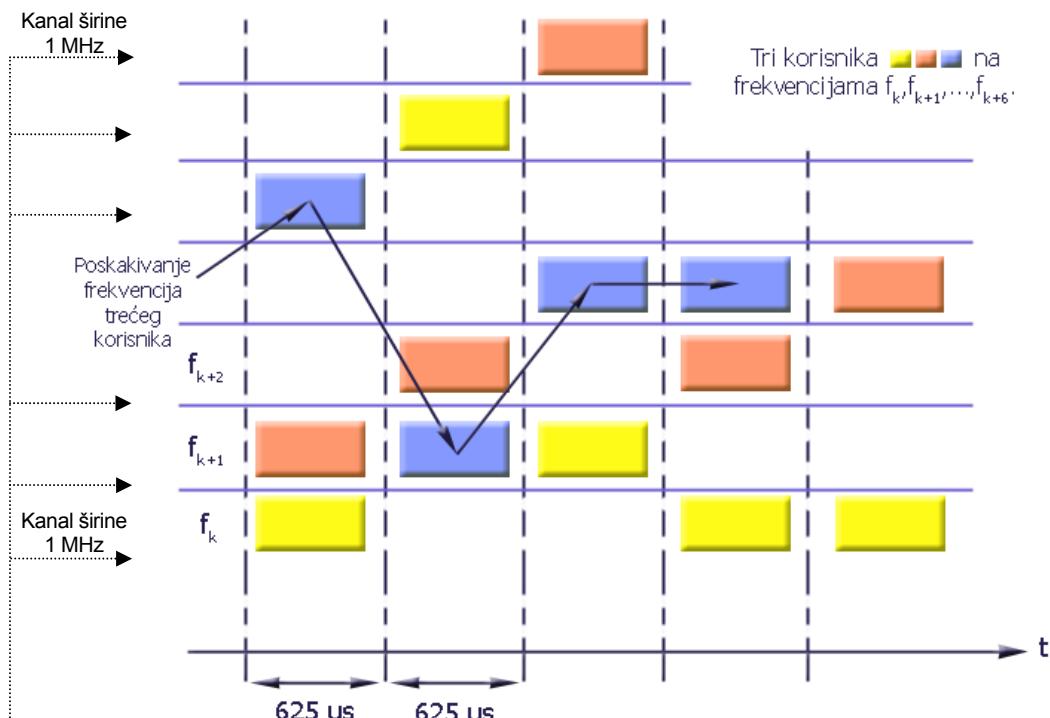
FHSS ili *Frequency Hopping Spread Spectrum* modulacijska tehnika poznata je i pod nazivom *Frequency-Hopping Code Division Multiple Access* (FH-CDMA).

Kod FHSS modulacije definiraju se frekvencijski skokovi unutar spektra, gdje se pod skokovima misli na ekstremno brze promjene frekvencija na kojima se prenose podaci. Odašiljač šalje kratke nizove podataka na jednoj frekvenciji neko vrijeme



(time slot od 625us), a potom se prebacuje na drugu frekvenciju. Odašiljač i prijemnik moraju biti sinkronizirani prema slijedu preskakivanja kako bi održali logički kanal, jer u suprotnom dolazi do gubitka podataka.

Cijeli frekvencijski pojas na 2.4 GHz, (2.4 GHZ – 2.4835 GHZ) dijeli se na 75 do 79 neprekrijućih podkanala pri čemu je širina svakog kanala 1MHz.



U Bluetooth kanalima koristi se FHSS tehnika. Ako se pojavi interferencija na jednoj frekvenciji, podaci se ponovo šalju na idućoj frekvenciji. Stalnim mijenjanjem frekvencije FHSS sustav je otporan na preslušavanje, a postiže se i visoki stupanj sigurnosti prijenosa. Time se omogućava rad više različitih bežičnih mreža unutar istog područja, ali bez nepoželjnih međudjelovanja.

Bluetooth tehnologija, uz FHSS tehniku, najčešće koristi GFSK modulaciju signala.

Standardi

Prve verzije Bluetooth tehnologije bile su 1.0B i 1.1.

Bluetooth 1.2

Verzija kompatibilna s 1.1, ali je donijela neka poboljšanja:

- anonimni način rada koji omogućava skrivanje adrese Bluetooth uređaja kako bi se korisnika zaštitilo od praćenja,



- adaptivna tehnologija frekvencijskog preskakivanja (eng. AFH – *Adaptive Frequency Hopping*) s kojom se povećava otpornost na interferenciju i izbjegava emitiranje na višestruko zauzetim frekvencijama. To znači da se određenim mehanizmima FHSS tehnika prilagođava (adaptira) slanju podataka gdje izbjegava emitiranje signala na frekvencijskim kanalima za koje prepostavlja da su zauzeti,
- vrijeme potrebno za pronalaženje Bluetooth uređaja i uspostavljanje veze je smanjeno na prosječno 1s,
- veće brzine prijenosa podataka, u praksi do 721 kb/s,
- uvedena eSCO (eng. *Extended Synchronous Connections*) veza koja poboljšava kvalitetu govora time što dozvoljava ponovno slanje pogrešno prenesenih ili oštećenih paketa, te procesiranjem signala i upotrebot različitih metoda kodiranja.

Bluooth 2.0

U studenome 2004. godine SIG grupa predstavila je novu reviziju Bluetooth standarda, verziju 2.0 + EDR (eng. *Enhanced Data Rate*) od 3 Mbps za ACL (eng. Asynchronous Connectionless link) i SCO (engl. *Synchronous Connection Oriented link*) prijenos:

- tri puta veća brzina prijenosa podataka, a u nekim slučajevima i do 10 puta,
- manja potrošnja energije,
- poboljšanje kvalitete prijenosa podataka (manji postotak pogrešno prenesenih bitova (eng. BER – *Bit Error Rate*)).

Uz postojeća poboljšanja zadržana je i kompatibilnost s Bluetooth uređajima temeljenim na verzijama 1.1 i 1.2.

Bluetooth 2.1

Verziju 2.1 predstavila je SIG grupa 26. srpnja 2007. godine. Kompatibilna je s 1.1, 1.2 i 2.0 prijašnjim verzijama, a poboljšanja su joj slijedeća:

- *Extended inquiry response*: dopušta veću količinu informacija za vrijeme faze upita (eng. *inquiry*) tijekom koje se upoznaje uređaj (ime, lista usluga koje uređaj nudi/podržava, itd.) prije uspostave veze,
- *Sniff subrating*: smanjenja potrošnja rada kada se uređaji nalaze u *sniff low-power* načinu rada, pogotovo kod asinkronog prijenosa podataka (ACL). Najveće koristi od *Sniff subrating-a* imaju HID (eng. *Human Interface Devices*) uređaji, kao što su miševi, tipkovnice, kod kojih baterija postiže dulji životni vijek za faktor 3 do 10,
- *Encryption Pause Resume*: omogućuje osvježavanje enkripcije koja koristi ključ, tako da zaštita može trajati 23.3 sata ("jedan Bluetooth dan").



- *Secure Simple Pairing*: poboljšava proces uspostavljanja novih veza između Bluetooth uređaja (engl. *pairing*). Za vrijeme tog procesa uređaji međusobno razmjenjuju tajni ključ za autentikaciju veze (eng. *link key*),
- *NFC cooperation*: automatsko uspostavljanje sigurnih Bluetooth veza i kod NFC radio sučelja. NFC je nova bežična tehnologija kratkog radio dometa koju podržava Bluetooth standard. Radi na 13.56 MHz i omogućava jednostavnu i sigurnu uspostavu veze između uređaja na udaljenosti od nekoliko centimetara.

Budućnost Bluetooth-a

- *Broadcast/Multicast prijenos*,
- *Topology Management*: automatska konfiguracija *piconet* mreža,
- QoS poboljšanja: kvalitetniji prijenos audio i video podataka,
- *High-speed Bluetooth*: 28. ožujka 2006. godine SIG grupa najavila je integraciju UWB (eng. *WiMedia Alliance Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing - MB-OFDM*) tehnologije s Bluetooth-om. Ta integracija trebala bi omogućiti veće brzine prijenosa velike količine podataka, visoku kvalitetu audio i video aplikacija za pokretne uređaje i bežični VoIP.

Protokol

Bluetooth specifikacija koju je razvila SIG grupa definira Bluetooth *protocol stack* (Sl.2), odnosno skupinu protokola za uspostavljanje veze i prijenos podataka između Bluetooth uređaja.

Prema Bluetooth specifikaciji, protokol *stack* dijeli se na tri logičke grupe:

- Transport Protocol grupu čine protokoli koji omogućuju da se Bluetooth uređaji međusobno "lociraju" u prostoru, te da upravljaju fizičkim i logičkim vezama kako bi se uspješno povezali s protokolima viših razina i aplikacija.
Transport Protocol grupa nije ekvivalentna transportnom sloju OSI modela, već je po svojim aktivnostima bliže karakteristikama podatkovnog i fizičkog sloja OSI modela,
- Middleware Protocol grupu čine protokoli koji omogućuju da postojeće i nove aplikacije rade preko Bluetooth veza,
- Application grupu čine aplikacije koje koriste Bluetooth veze.

Unutar Transport Protocol grupu definirani su slojevi i sučelja:

- Radio sloj (eng. Radio layer) – specifikacije Radio sloja prvenstveno se odnose na projektiranje Bluetooth primopredajnika (eng. *transceiver*):
 - rad na 2.4 GHz ISM pojasa sa 79 kanala i FHSS tehnika,
 - brzina prijenosa do 1Mbps,



- GFSK modulacija signala,
- automatska kontrola potrošnje:

Maksimalna izlazna snaga	Udaljenost
100mW (20dBm)	100m
2.5mW (4dBm)	20m
1mW (0dBm)	10m

- Osnovni pojas (eng. Baseband Layer) definira na koji se način međusobno povezuju Bluetooth uređaji.

Na ovom sloju definiraju se uloge nadređene jedinice (eng. *master*) i podređenih jedinica (eng. *slave*) unutar mreže i slijed frekvencijskog preskakivanja za FHSS tehniku. Uređaji koriste TDD (eng. *Time Division Duplexing*) i PBPS (eng. *Packet Based Polling Scheme*) tehniku.

Na ovom sloju definirani su: tipovi paketa, prijenos paketa, postupci za obradu paketa, načini detekcije i korekcije grešaka, ponovno slanje u slučaju pogreške, kodiranje i dekodiranje signala.

Podržava dva tipa prijenosa podataka:

- SCO (eng. *Synchronous Connection-Oriented*) tip veze koji je prvenstveno namijenjen za prijenos audio signala (govora) jer se kod takvog prijenosa zahtijeva brz i točan prijenos podataka. Uređaji koji koriste SCO vezu imaju rezervirane vremenske odsječke za slanje audio paketa.
- ACL (eng. *Asynchronous Connection-Less*) tip veze kod koje uređaj šalje pakete promjenjive dužine u trajanju od 1,3 ili 5 vremenskih odsječaka.

SCO paketi imaju veći prioritet od ACL paketa.

- Upravljač vezama (eng. Link Manager) implementira LMP (eng. *Link Manager Protocol*) protokol koji upravlja svojstvima bežične veze između dva uređaja: dodjeljivanje propusnog pojasa za prijenos podataka, rezervacija propusnog pojasa (kontrola veličine paketa) za prijenos audio signala, autorizacija, šifriranje podataka, kontrola potrošnje energije (prelazak na režim rada smanjenje potrošnje i određivanje snage zračenja odašiljača s ciljem da se produži životni vijek baterije).

Link Controller je odgovoran za uspostavljanje i održavanje veze između Bluetooth jedinica.

LMP upravlja piconet konfiguracijom i sadrži procedure za uspostavu sigurne veze između Bluetooth uređaja (enkripcija i autentikacija),

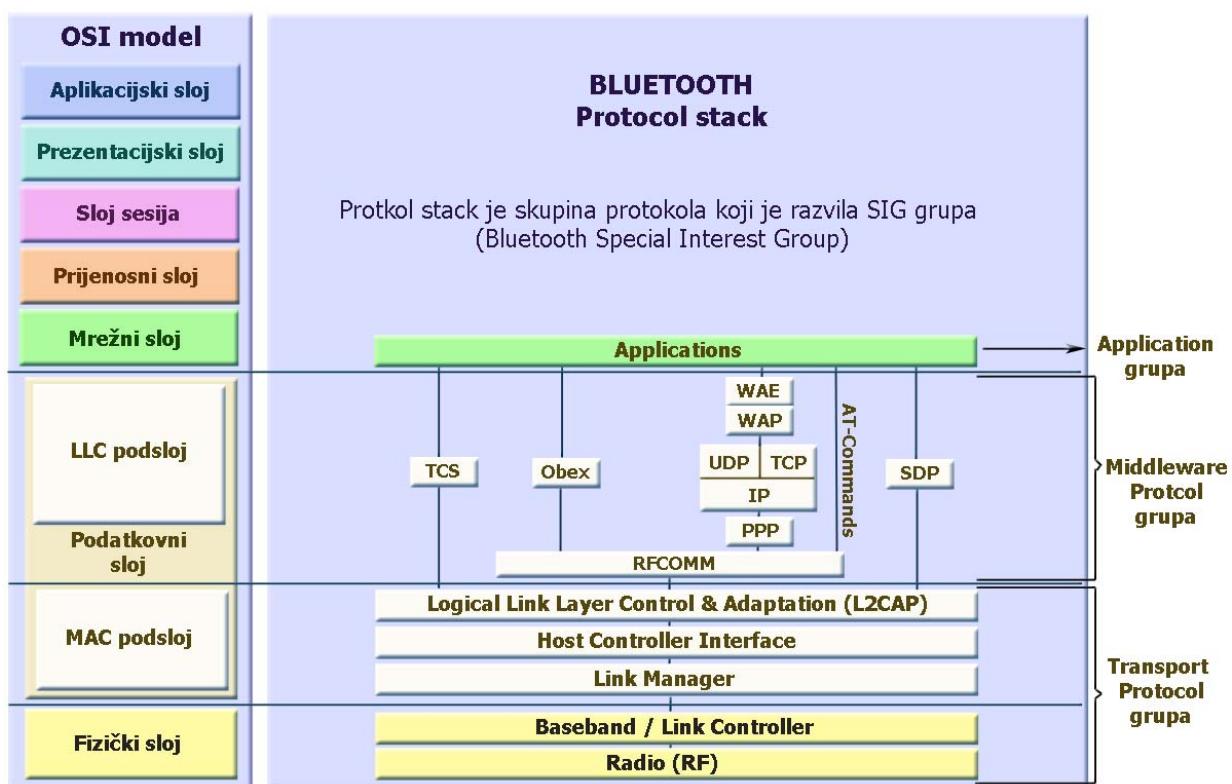
- Sučelje host kontrolera (eng. HCI – Host Controller Interface) definira standardno sučelje preko kojeg aplikacije s više razine mogu pristupiti nižim



razinama u Bluetooth stack protokolu. Osigurava kompatibilnost između uređaja i korištenje postojećih protokola i aplikacija s viših razina.

HCI nije nužan dio specifikacije.

- Logička kontrola veze i adaptacija (eng. L2CAP – *Logical Link Control & Adaptation*) definira sučelje između protokola na višim razinama i transportnim protokolima na nižoj razini. Odgovoran je za segmentaciju paketa i njihovo ponovno 'sklapanje', kao i održavanje veze između uređaja.



SI.2. Bluetooth protocol stack

Middleware Protocol grupu čine:

- Protokoli koje su razvile tvrtke SIG-grupe:
 - Emulator serijskog porta (RFCOMM) – nadomješta serijski priključak i na taj način pokriva aplikacije koje koriste PC serijske priključke,
 - Paketni TCS protokol (eng. *Telephone Control Signaling*) definira kontrolu poziva za uspostavljanje govornih veza (telefonske usluge, faks,...) između Bluetooth uređaja,
 - SDP (eng. *Service Discovery Protocol*) protokol definira postupke za pronalaženje usluga koje nude uređaji,



- Protokoli razvijeni za potrebe industrijskih standarda:
 - Protokoli PPP tipa (eng. PPP – *Point-to-Point Protocol*),
 - Internet protokoli (eng. IP – *Internet Protocol*),
 - Prijenosno upravljački protokoli (eng. TCP – *Transmission Control Protocol*),
 - Bežični aplikacijski protokoli (eng. WAP – *Wireless Application Protocol*),
 - Protokol za razmjenu "objekata" s aplikacijskog sloja – uređajima omogućuje međusobnu razmjenu različitih podataka i naredbi (eng. OBEX – *Object Exchange Protocol*). Neovisan je od mehanizma za prijenos podataka.
- Protokoli koje su razvile ostale (eng. *third-party*) tvrtke.

Svi ovi protokoli podržavaju sinkroni i asinkroni prijenos podataka.

Format paketa

Format paketa (Sl.3) određen je Bluetooth standardom. Svaki paket sastoji se od:

- pristupnog koda (72 bita),
- zaglavila (54 bita),
- podatkovnog prostora (eng. *payload*) ili korisničkog dijela (0-2744 bita).

Pristupni kod služi za identifikaciju i sinkronizaciju uređaja i temelji se na identitetu *master-a* i njegovog sistemskog takta (eng. *clock-a*) koji služi za sinkronizaciju rada s ostalim uređajima u mreži. Pristupni kod je jedinstven za svaki kanal i koriste ga svi paketi koji se prenose tim kanalom.

Zaglavje sadrži upravljačke informacije: bitove za korekciju pogreške, podatke o ponovnom slanju podataka i kontroli toka podataka.

Duljina korisničkog dijela je promjenjiva.

Osnovna podjela paketa:

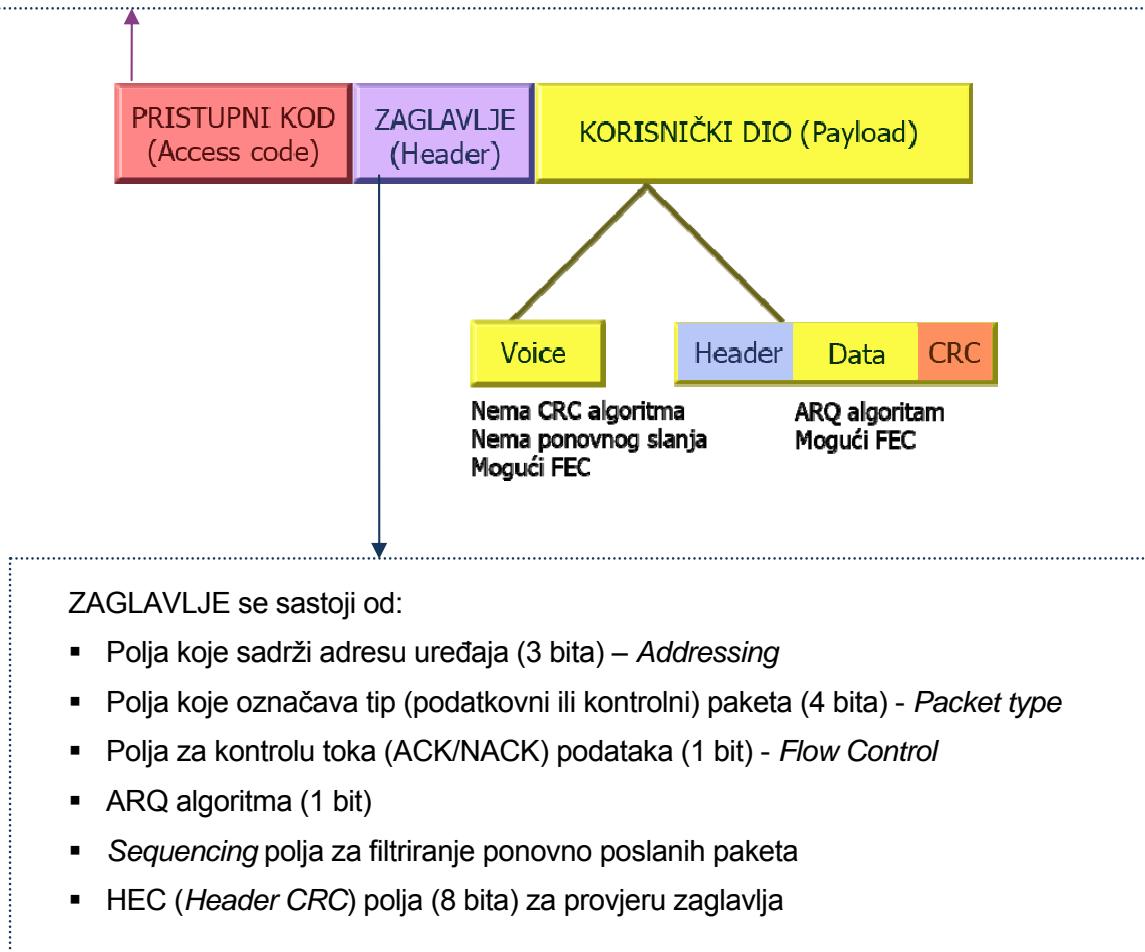
- paketi za govor – korisnički dio predstavlja audio signal. Ne koristi se CRC algoritam i nema ponovnog slanja u slučaju pogreške.
- paketi za podatke – korisnički dio sastoji se od zaglavila i podataka. Koristi se CRC i ARQ algoritam.

PRISTUPNI KOD može biti:

Channel Access Code (CAC) - za identificiranje piconet mreže

Device Access Code (DAC) - koristi se kod "page" faze

Inquiry Access Code (IAC) - koristi se kod određene grupe Bluetooth uređaja istih karakteristika



Sl.3. Standardni format paketa

Sinkroni i Asinkroni prijenos podataka

Bluetooth standardom definirane su dvije vrste fizičkih veza koje podržavaju prijenos govora i podataka (Sl.4):

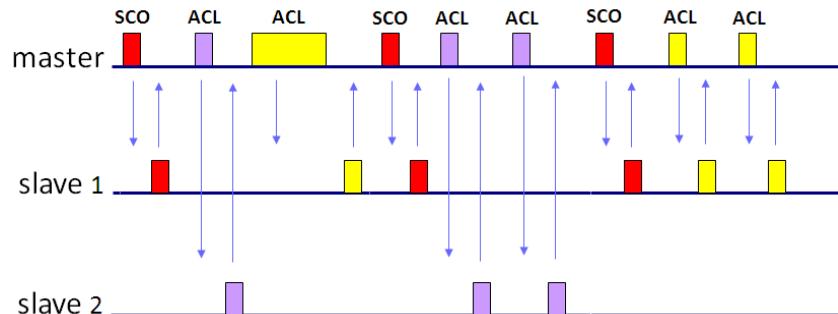
- Sinkroni prijenos (eng. SCO – *Synchronous Connection Oriented link*),
- Asinkroni prijenos (eng. ACL – *Asynchronous Connectionless Link*).

Asinkroni prijenos podataka

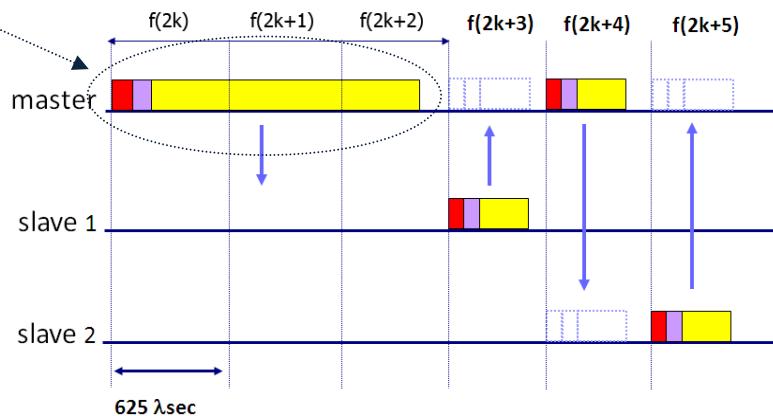
ACL veza podržava simetrične i nesimetrične *point-to-multipoint* veze. Prenose se korisničke ili upravljačke informacije u jednom ili nekoliko vremenskih odsječaka (1, 3 i 5), s ili bez primjene FEC tehnike kodiranja. Podatkovni paketi su zaštićeni protkolom automatske provjere i ponovnog slanja (eng. ARQ – *Automatic Retransmission Query*).

Sinkroni prijenos podataka

SCO veze podržavaju komutirane, simetrične *point-to-point* veze i zbog toga se većinom koriste za prijenos govora visoke kvalitete uporabom HV paketa (eng. *High quality Voice*). Full duplex komunikacija ostvaruje se vremenskim multipleksom (eng. TDD – *Time Division Multiplex*). Govor se prenosi pri brzini od 64kbps uz mogućnost tri istovremena time slot-a. Prijenos se može ostvariti i uporabom DV (eng. *Data Voice*) paketa kojima se prenose podaci i govor. Kod prijenosa SCO vezom moguće je upotrijebiti FEC (eng. *Forward Error Correction*) tehniku kodiranja unaprijednog ispravljanja pogrešaka. Svrha uporabe FEC tehnike pri podatkovnom prijenosu je smanjenje broja ponovljenih slanja. HV paketi ne koriste CRC algoritam.



**Sl.4. Primjer SCO i ACL komunikacije između
master i slave uređaja (*mix link*)**



Sl.5. Master-slave komunikacija s *multislot* paketima

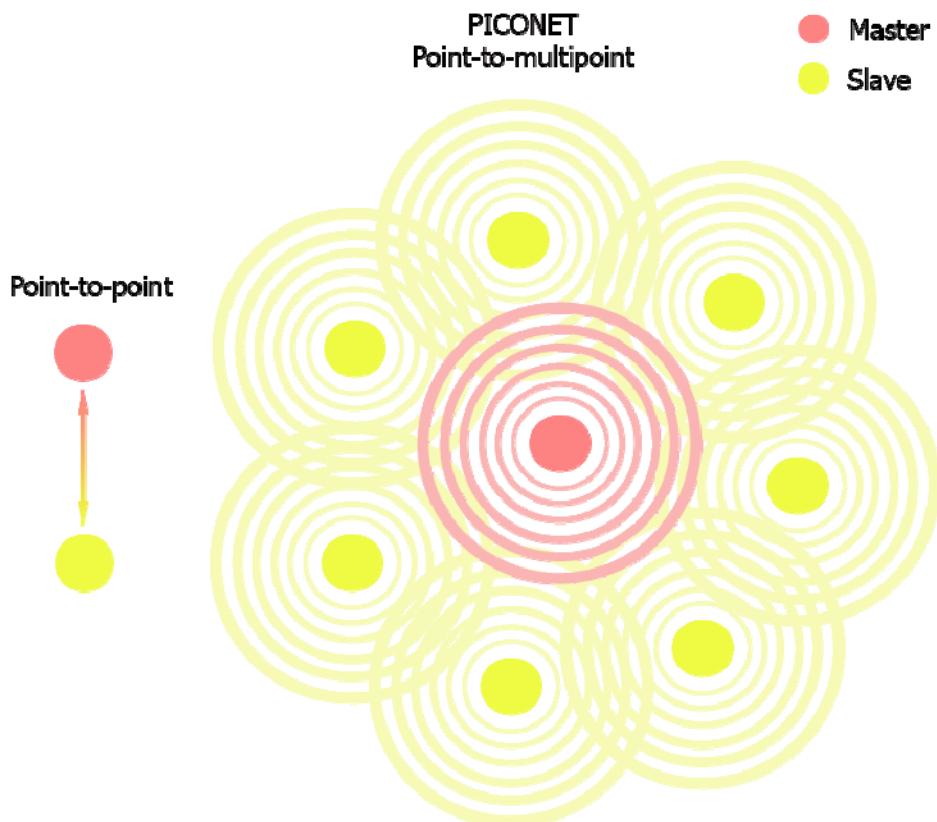


Konfiguracija mreža

Bletooth tehnologijom moguće je ostvariti tri osnovne topologije: point-to-point, piconet mrežu i scatternet mrežu.

Piconet

Dva ili više Bluetooth uređaja koji dijele isti medij tvore piconet mrežu. U njoj se jedna jedinica ponaša kao nadređena (*master*), kontrolirajući promet, a ostale jedinice su podređene (*slave*).



**SI.6. Dvije konfiguracije piconet mreža
point-to-point i point-to-multipoint**

Svaka jedinica ima svoj *clock* i svoju jedinstvenu 48-bitnu IEEE MAC adresu (BD_ADDR). Ta adresa predstavlja identifikacijski broj ID uređaja u mreži i može se programski promjeniti. Da bi uređaji mogli međusobno komunicirati moraju biti sinkronizirani na isti *clock* i upotrebljavati isti slijed frekvencijskog preskakivanja (FHSS). *Clock* "otkucava" svakih 312.5us. *Clock master* uređaja koristi se za sinkronizaciju svih ostalih uređaja u mreži. Svaki *slave* uređaj treba odrediti *offset* (razliku) između svojeg untarnjeg *clock-a* i *clock-a master-a* kada se priključuje piconet mreži. To u svakom vremenskom odsječku omogćuje razmjenu paketa između *master-a* i *slave* uređaja.

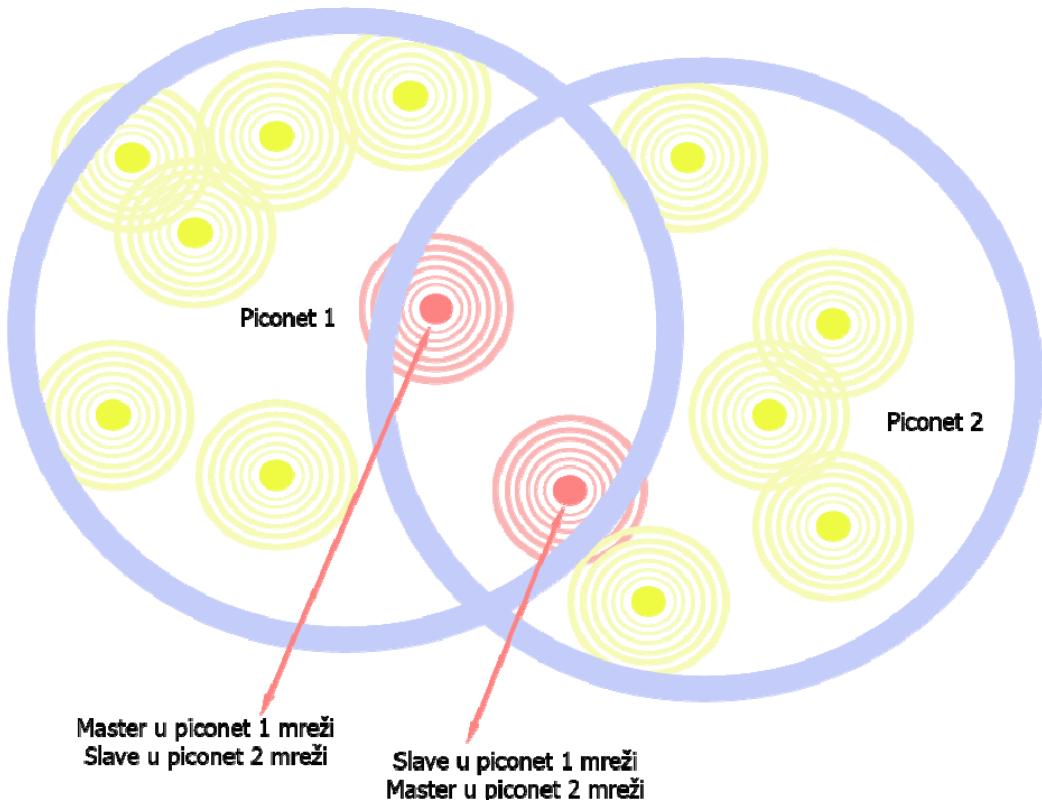


ID broj *master* jedinice određuje redoslijed frekvencijskog preskakivanja.

Unutar jedne piconet mreže maksimalno može biti do 7 aktivnih *slave* uređaja i 1 *master* uređaj. Kako raste broj uređaja u mreži tako opada propusnost po korisniku.

Scatternet

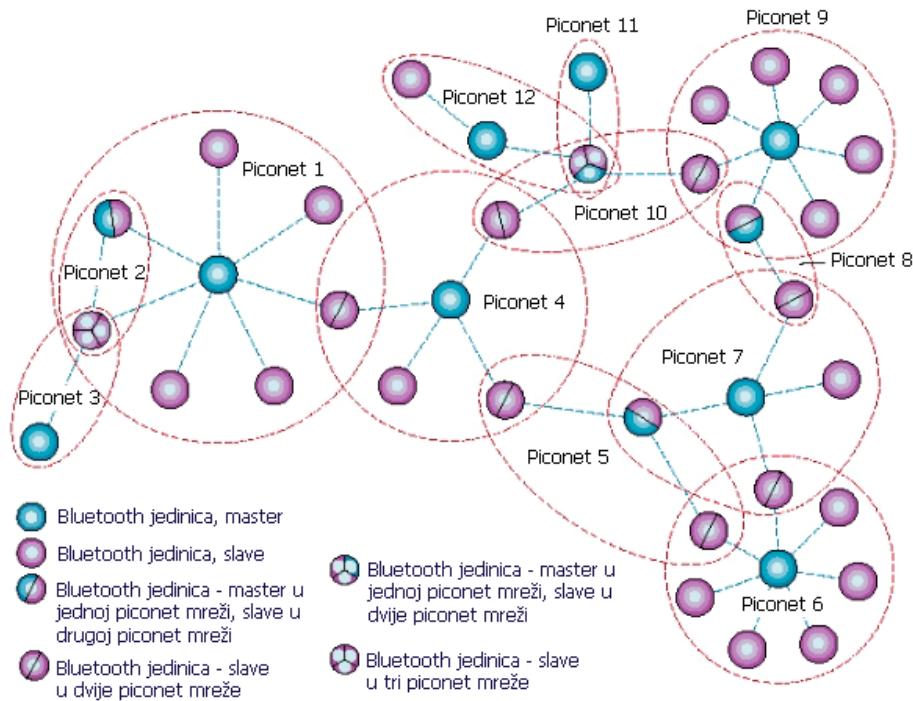
Dvije ili više međusobno nesikronoziranih piconet mreža čine scatternet mrežu (Sl.7). Veza između scatternet mreža ostvaruje se preko jednog Bluetooth uređaja koji može biti *slave* u dvije ili više piconet mreža, ali *master* u samo jednoj piconet mreži. Takav uređaj može biti *gateway* propuštajući promet iz jedne mreže u drugu.



Sl.7. Scatternet mreža sastavljena od dvije piconet mreže

Kako Bluetooth uređaji mogu slati i primati pakete unutar jedne piconet mreže, njihovo sudjelovanje u ostalim mrežama temelji se na TDM-u (*Time Division Multiplex*). To znači da iako uređaji mogu sudjelovati u radu ostalih mreža, oni mogu biti aktivni samo unutar jednog piconet-a u nekom određenom trenutku, odnosno dijele svoje vrijeme prema broju piconet-a, radeći jedan dio vremena u jednoj, a drugi dio vremena u drugoj mreži.

Zahvaljujući FHSS tehnici istovremeno može postojati 10 nezavisnih piconet mreža (ili do 80 uređaja). Iznad tog broja mreža postaje preoptrećena.



Sl.8. Primjer spajanja više piconet mreža u scatternet mrežu

Umrežavanje

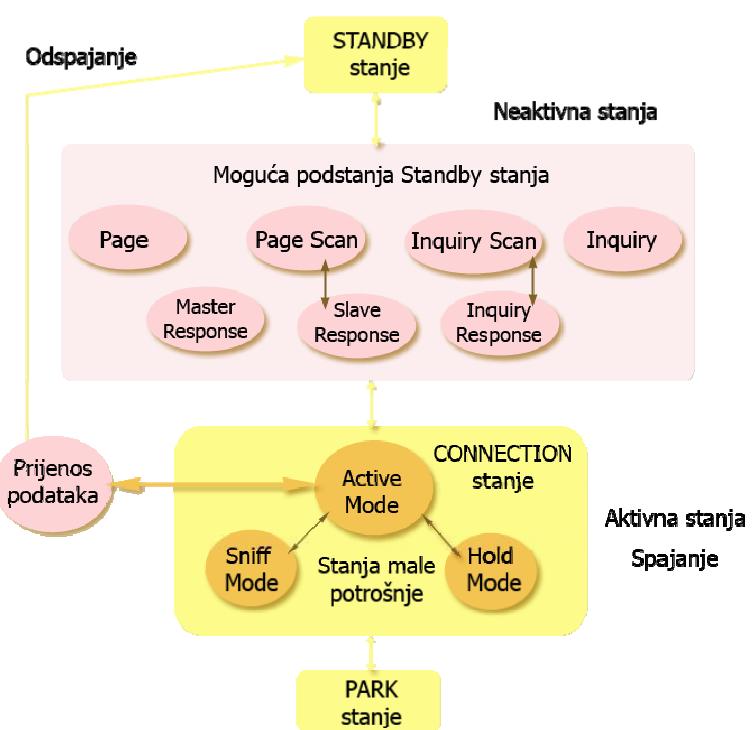
Kada se Bluetooth uređaji nađu unutar dometa oni uspostavljaju *ad hoc* mrežu. U toj mreži jedan od uređaja postaje nadređen (*master*), a svi ostali uređaji su podređeni (*slave*). Važno je napomenuti da bilo koji uređaj može postati nadređenim. Uređaj koji uspostavlja vezu, prema definiciji, preuzima tu funkciju.

Umrežavanje uređaja unutar piconet mreža i uspostava međusobne komunikacije ide u nekoliko koraka:

1. Uređaj je prvo u *Standby* stanju. Zatim ulazi u *Inquiry* podstanje u kojem traži prisutnost drugih uređaja u mreži (trajanje ~2s). Bluetooth specifikacija definira *Inquiry* pristupne kodove pomoću kojih uređaj specificira koji tip uređaja traži u mreži (npr. kao PDA, printer ili LAN pristupna točka). Za vrijeme *Inquiry* upita, uređaj iz vlastitog lokalnog *clock-a* i *Inquiry* pristupnog koda generira slijed frekvencijskog preskakivanja. Taj slijed pokriva 32 kanala od mogućih 79 (FHS tehnika). Prema generiranom slijedu, uređaj šalje *Inquiry* upit na svakom kanalu (*broadcast* upit),
2. Ostali uređaji se u mreži u određenim vremenskim intervalima (periodično) nalaze u *Inquiry scan* podstanju i osluškuju medij. Ti uređaji također generiraju slijed fekvencijskog preskakivanja iz svojeg lokalnog *clock-a* i pristupnog koda. Ako uređaj koji se nalazi u *Inquiry scan* podstanju dobije *Inquiry* upit, on tada ulazi u *Inquiry response* podstanje i odgovara s *Inquiry response* porukom koja uključuje adresu tog uređaja i njegov *clock* (za sinkronizaciju),



3. Svi uređaji koji su *broadcast inquiry* porukom pronađeni unutar 10 m (dometa), odgovoriti će na *Inquiry* poruku. Zbog toga često korisnik sam mora selektirati željeni Bluetooth uređaj s liste pronađenih uređaja,
4. Uređaj koji je slao *Inquiry* upit, sada prima *Inquiry response* poruku i ulazi u *Page* podstanje kako bi uspostavio vezu. U *page* podstanju, uređaj generira frekvencijski slijed preskakivanja na temelju adrese i vrijednosti *clock-a* pronađenog uređaja koje dobiva iz *Inquiry response* poruke. Prema tom slijedu na svakom od 32 kanala šalje *Page* poruku. Ako u međuvremenu u mreži postoje uređaji koji žele komunicirati s njim, on će u nekim vremenskim intervalima ulaziti u *Page scan* podstanje. Uređaj osluškuje medij za odgovor svakih 1.25 s na 16 kanala od mogućih 32,
5. Traženi uređaj u mreži (sada već *slave*) prima *Page* poruku i odgovara s *Page response* paketom onome tko je posalo *Page* poruku (sada već *master*),
6. Kada *master* primi odgovor, šalje FHS paket *slave* uređaju. FHS paket sastoji se od Bluetooth adrese i *clock-a* *master-a*. Nakon što *slave* primi FHS paket, on šalje ACK paket da je primio FHS paket. To dobiva *master* i generira novi slijed frekvencijskog preskakivanja iz vlastite adrese i vlastitog *clock-a*. *Slave* tada koristi *master-ovu* adresu i *clock* za generiranje identičnog slijeda. Time se je *master* sinkronizirao sa *slave* uređajem i moguće je uspostaviti komunikaciju,
7. Nakon što je *Page* proces gotov, uređaji prelaze u *Connection* stanje (trajanje *Page-Connected* procesa ~0.6s). *Master* tada šalje *poll* paket *slave* uređajima kako bi potvrdio uspješan prijelaz iz slijeda frekvencijsog preskakivanja koji je bio prisutan u *Page* stanju u novi slijed koji se temelji na njegovom vlastitom *clock-u* i adresi.





- Kod procesa umrežavanja (gornja slika) definirana su tri stanja: *Standby*, *Connection* i *Park*.

Standby stanje:

Bluetooth uređaj čeka da se priključi piconet mreži, nalazi se u *standby* modu. Uređaj osluškuje medij svakih 1.25 sekundi na 32 različite frekvencije (kanala) u vremenu od 10 ms na pojedinom kanalu.

- Sedam podstanja: *Page*, *Page Scan*, *Inquiry*, *Inquiry Scan*, *Master Response*, *Slave Response*, *Inquiry Response*,

Connection stanje:

Označava stanje aktivnosti Bluetooth uređaja u mreži. Uređaji međusobno komuniciraju. Uz svoju 48-bitnu MAC adresu, uređaj ima i 3-bitnu *Active Member Address (AM_ADDR)*.

- Tri načina rada *Connection stanja*: *Active*, *Sniff*, *Hold*:

- *Active mode*:

Bluetooth uređaj aktivno sudjeluje kod prijenosa podataka. *Master* redovito šalje *polling* pakete unutar mreže, pomoću kojih omogućuje *slave* uređajima da šalju pakete i re-sinkroniziraju se s njim. Potrošnja Bluetooth uređaja je oko 40mA-50mA,

- *Sniff mode*:

Ovo je način rada smanjene potrošnje jer mu je namjena štednja energije (npr. baterija mobilnog telefona). Bluetooth uređaj ulazi u ovo stanje i kada neko vrijeme nema komunikacije na Bluetooth kanalu. No, osluškuje mrežu kako bi ostao sinkroniziran unutar mreže. Uređaj se vraća u prvobitno stanje po prijemu novih podataka. Potrošnja je oko 1-5% od maksimalne potrošnje prijenosa,

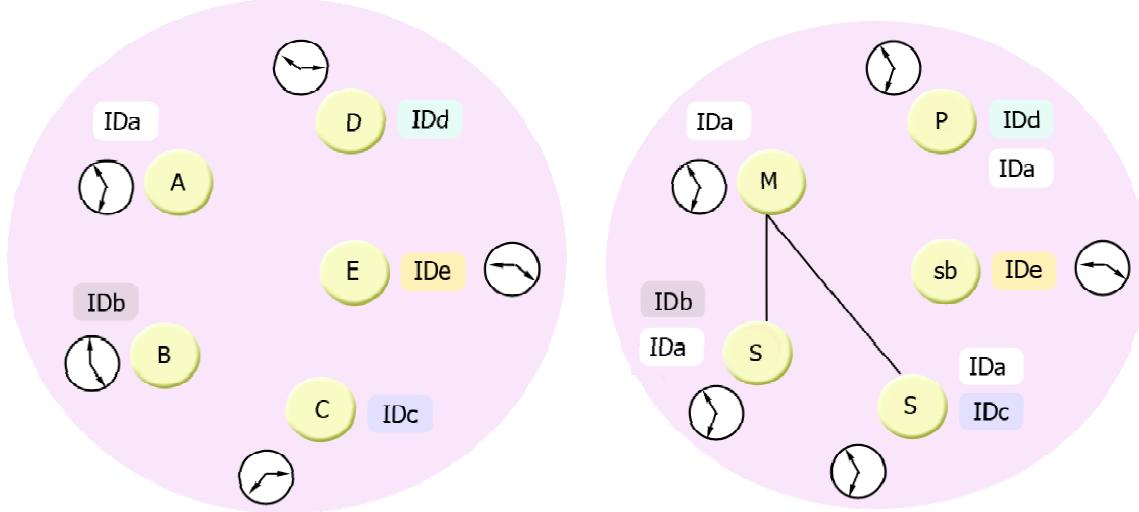
- *Hold mode*:

Ovaj način rada je još manje potrošnje od *Sniff mode* i ne podržava ACL prijenos tijekom nekih vremenskih odsječaka (odsječci se određuju kod uspostavljanja *Hold moda*). Razlog odlaska uređaja u ovo stanje je čuvanje energije. Bluetooth uređaj ostaje sinkroniziran unutar mreže. Na kraju *Hold* perioda, Bluetooth uređaj se vraća u aktivno stanje.

Park stanje:

Bluetooth uređaj ulazi u ovo stanje kada više ne želi biti aktivan čvor piconet mreže, ali želi ostati dio njega tako da se kasnije može uključiti u komunikaciju. Zato uređaj ostaje sinkroniziran s *master-om* (Sl.9) i osluškuje *broadcast* medij (eng. *Beacon Channel*). Uz svoju 48-bitnu MAC adresu uređaj dobiva i 8-bitnu *Parked Member address*

(PM_ADDR). Ovo stanje je korisno ako ima više od 7 uređaja koji žele biti dio istog piconet-a. Parkirani slave uređaji se tada iz *park moda* bude regularno, slušaju na određenom kanalu, vrše re-sinkornizaciju i provjeravaju imaju li *broadcast* poruka poslanih od strane *master-a*.

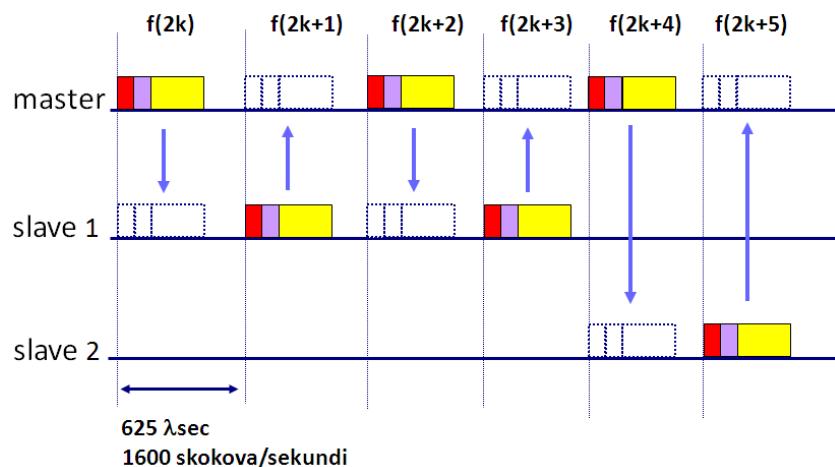


Sl.9. Proces sinkronizacije clock-a master-a s clock-ovima slave uređaja

(lijeva slika prikazuje 5 uređaja u mreži. Procesom umrežavanja na desnoj slici A uređaj postaje *master*, a B i C *slave* uređaji.

Uredaj E je u *Standby modu*, a D u *Park modu* – nije aktiviran član, ali ostaje sinkroniziran s *master-om*)

Master šalje pakete u parnim vremenskim odsječcima, a prima u neparnim vremenskim odsječcima (Sl.10), dok slave uređaj radi suprotno (*TDD* princip rada).



Sl.10. Master šalje pakete u parnim vremenskim odsječcima, a prima u neparnim



Zaštita i sigurnost Bluetooth tehnologije

Bluetooth tehnologija implementira sigurnosne protokole. Ti protokoli su definirani na nižim razinama Bluetooth stack protokola. Razine zaštite su:

1. Svaki Bluetooth uređaj ima jedinstvenu IEEE MAC adresu (48 bita),
2. Primjena frekvencijskoga preskakivanja (FHSS) i mala snaga emitiranja,
3. Bluetooth sigurnosni protokol zahtijeva 2 tajna ključa:
 - autentikacijski ključ (128-bitni) – uređaj šalje *challenge* upit drugom uređaju s kojim se želi spojiti. Za uspješno uspostavljanje veze pitani uređaj mora znati odgovoriti na *challenge* upit,
 - enkripcijski ključ dobiven iz slučajno generiranog broja (8-128 bitni) – nakon što je prošao proces autentikacije između dva uređaja, veza po kojoj se šalju/primaju podaci se kriptira.

Pitanja

1. Što je to Bluetooth?
2. Tko je započeo razvoj Bluetooth tehnologije?
3. Što je to SIG grupa i čime se bavi?
4. Koju frekvencijsku tehniku koristi Bluetooth tehnologija?
5. Što je to Bluetooth *protocol stack* i ima li sličnosti s OSI referentnim modelom?
6. Koji slojevi čine Bluetooth *protocol stack* i koje su im karakteristike?
7. Koje prijenose podataka definira *Baseband* sloj?
8. Koliko iznosi simetrični, a koliko asimetrični prijenos?
9. Koje sve vrste paketa postoje?
10. Kako je definiran format paketa?
11. Koje vrste konfiguracija mreža postoje i koje su im karakteristike?
12. Kako započinje umrežavanje uređaja u piconet mreži i uspostava komunikacije između *master-a* i *slave* uređaja?
13. Navedite slijed aktivnosti kod uspostave komunikacije između dva uređaja unutar piconet mreže?
14. Što je to TDM i TDD?
15. Koji su elementi sigurnosti Bluetooth tehnologije?

Zanimljivi linkovi

1. Master/Slave sinkronizacija u Bluetooth sustavu:
<http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?IA=WO2002001775&wo=2002001775&DISPLAY=DESC>