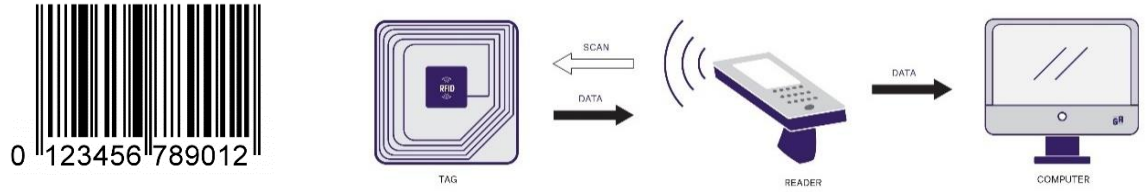
RFID i NFC

RFID i NFC su bežične tehnologije kratkog dometa koje nalaze primenu u automatskoj (i bežičnoj) identifikaciji, prebrojavanju i praćenju osoba, proizvoda i različitih objekata, počev od malih paketa do kompletnog inventara velikih skladišta. Dve osnovne komponente ovih sistema su tag i čitač. Tag je jednostavan uređaj malih dimenzija koji može da se prikači ili zalepi na objekat i koji čuva određenu informaciju o tom objektu, dok je čitač uređaj koji se koristi za bežično očitavanje taga. RFID je klasična tehnologije iz ove kategorije, koji je u upotrebi više decenija unazad. NFC je novijeg datuma i našao je široku primenjuje u sistemima za beskontaktno plaćanje i komunikaciju malog dometa između uređaja kao što su mobilni telefoni. Postoji mnoštvo tipova sistema i uređaja iz ove kategorije, sa svojim specifičnim karakteristikama. U ovom poglavlju su opisani osnovni principi rada koji su zajednički za većinu RFID i NFC sistema.

3.1 RFID

RFID (*Radio Frequency Identification* - radiofrekvencijska identifikacija) je bežična tehnologija kratkog dometa, razvijena, u prvom redu, kao zamena za bar-kodove, koje možemo videti na skoro svakom proizvodu koji se danas prodaje. Bar-kod može skladištiti samo ograničenu količinu informacija, koja je kôdirana nizom crno-belih vertikalnih traka različite debljine. Sama informacija je niz cifara (ponekad i slova) i obično je odštampana odmah ispod crno-belih traka (Sl. 1(a)). Ključna prednost RFID-a u odnosu na bar-kôd je ta što RFID omogućava to da informacija može biti pročitana sa RFID taga bez obzira da li je tag vidljiv, za razliku od bar-koda, gde se, radi čitanja, zahteva da vertikalne trake budu izložene laserskom zraku. Takođe, tag može da sadrži značajno veću količinu informacije od bar-koda. RFID tag je zapravo mali čip, koji sadrži CPU, memoriju i druge elektronske sklopove, kao i antenu. RFID tagovi pružaju način za skladištenje i pristup dodatnim informacijama direktno na proizvodu ili pakovanju, što olakšava identifikaciju vrste proizvoda, serijskog broja, mesta proizvodnje i vremena proizvodnje, kao i drugih informacija. Osnovni način rada je taj da RFID čitač emituje elektromagnetne talase koji generišu malu količinu struje u anteni tag (Sl. 1(b)). Ta struja napaja čip u tagu, koji zatim, bežičnim putem, šalje informaciju skladištenu u memoriji taga nazad čitaču. Čitač može da prenese očitanu informaciju host računaru koji je dalje obrađuje ili prikazuje.



(a) (b)

Sl. 1 (a) Bar-kôd. „0123456“ - jedinstveni identifikator proizvođača, „789012“ – jedinstveni broj proizvoda: (b) RFID: Čitač očitava informaciju koja je smeštena u tagu i prenosi je host računaru na dalju obradu.

RFID tagovi su dostupni u različitim tipovima i veličinama, od samolepljivih nalepnica do privezaka za ključeve, dugmadi koje se mogu ušiti na odeću, i u mnogim drugim oblicima. Neki aerodromi koriste RFID za identifikaciju prtljaga. Ili, kako se pošiljke istovaruju sa kamiona i unose u skladište, kutije koje sadrže RFID tag mogu se čitati direktno na utovarnoj rampi, ažurirajući inventar i usmeravajući operatera viljuškara gde da postavi proizvode. Većina RFID tagova su pasivni, u smislu da ne poseduju sopstveno napajanje. Međutim, postoje i tzv. aktivni tagovi, koji se napajaju baterijom i imaju veći domet komunikacije. Ovi tagovi mogu da sadrže senzore koji mere i beleže fizičke veličine poput temperature i vlažnosti i mogu se, na primer, koristiti kako bi se pratilo da li su kvarljive namirnice izložene nedopuštenim temperaturama ili vlažnosti. Jedna od najčešćih primena RFID-a danas je za kontrolu inventara. Umesto da zaposleni ručno broje inventar (koliko kojih proizvoda ima u skladištu), što je izuzetno vremenski zahtevno, RFID čitači mogu biti postavljeni širom skladišta i inventar se može automatski brojati, onoliko često koliko je potrebno. RFID tagovi se mogu čitati na različitim udaljenostima, zavisno o vrsti taga i čitača, od manje od $3\ cm$ do oko $100\ m$. Brzine prenosa podataka obično su samo nekoliko kbs, ali i to je više nego dovoljno za malu količinu podataka sadržanih u tipičnom.

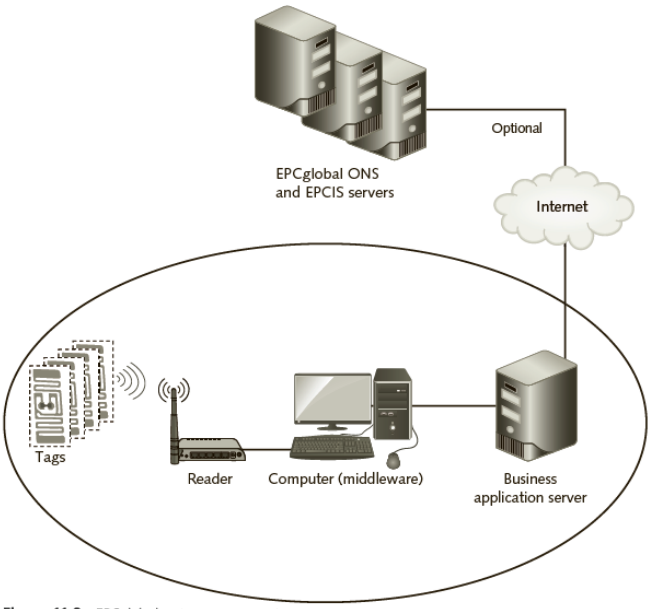
3.1.1 EPC

Kod RFID, za identifikaciju, koristi se kôd proizvoda, EPC (*Electronic Product Code*), formulisan od strane organizacije *EPCglobal*. EPC je niz cifara, usklađen sa standardnom numeričkom šemom, koji je smešten u memoriji RFID taga i identifikuje fizički objekat na koji je tag prikačen. Svaki EPC je jedinstveni broj, ili kôd, koji je pridružen konkretnom objektu (proizvodu). EPC je dužine 64 ili 96 bita i obično se predstavlja u heksadecimalnoj notaciji, kao na Sl. 2. 96-bitni tag, koji je u široj primeni, sadrži sledeća polja:

- *Header* – 8-bitno polje koje sadrži broj EPC verzije
- *Domain manager*- 28-bitno polje koje identifikuje proizvođača proizvoda (kompaniju, firmu). 268.5 miliona različitih vrednosti.
- *Object class* – 24-bitno polje koje identifikuje tip proizvoda. Preko 16 miliona različitih proizvoda za svaku kompaniju.
- *Serial number* – 36-bitno polje koje sadrži serijski broj svakog primerka konkretnog proizvoda. Preko 68.7 milijardi jedinstvenih serijskih brojeva.

Nakon očitavanja iz RFID taga, EPC se može koristiti da bi se saznali detaljni podaci o proizvođaču i proizvodu, putem servisa *Object Name Service* (ONS), koji je dostupan preko Interneta (Sl. 3).

Sl. 2 EPC format

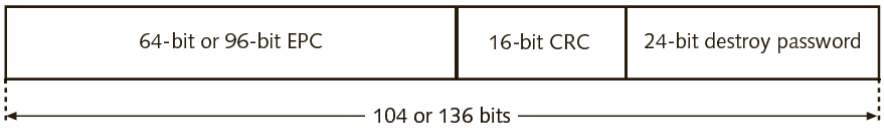


Sl. 3 *Object Name Service*

3.1.2 Memorija taga

Kapacitet memorije u tagu zavisi od proizvođača i primene i obično je u opsegu od 16 bajt pa čak do nekoliko stotina KB. Minimalna količina informacija sadržana u memoriji taga obuhvata: EPC, 16-bitni CRC (za proveru ispravnosti) i tzv. lozinku za uništenje (*destroy password*), Sl. 4. Lozinka za uništenje je 24-bitni kôd koji je fabrički programiran u tagu. Nakon što od čitača primi lozinku za uništenje, tag se trajno isključuje, odnosno postaje nedostupan za čitanje (i za upisivanje).

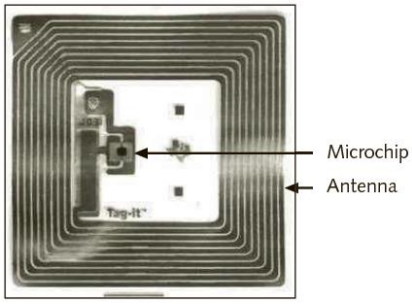
Preostali memorijski prostor taga, ukoliko postoji, koristi se za namene koje proističu iz zahteva konkretne primene (pamćenje istorijskih podataka o proizvodu na koji je tag prikačen, podaci za kalibraciju konkretnog uređaja itd.)



Sl. 4 Struktura (osnovne) informacije u tagu

3.1.3 Tipovi RFI tagova

RFID tag je mali uređaj koji sadrži integrisano kolo, postojanu memoriju malog kapaciteta (ROM ili EEPROM/Flash) i jednostavan mikroprocesor, kao i antenu (Sl. 5). Postoje tri vrste RFID tagova: pasivni, aktivni i semi-aktivni (polu-aktivni).



Sl. 5 Pasivni RFID tag

Pasivni RFID tag. Najčešći tip RFID taga. Pasivni tagovi su malih dimenzija, mogu se proizvesti u velikim serijama po niskoj ceni i ne sadrže bateriju. Za napajanje ugrađenog čipa, pasivni RFID tag koristi elektromagnetnu energiju RF talasa koji emituje RFID čitač, što mu dalje omogućava da prenese informaciju smeštenu u internoj memoriji nazad čitaču. Pasivni tag ne poseduje predajnik, već samo prima signal čitača, modifikuje ga, tj. moduliše informacijom koju želi da pošalje, i modulisani signal reflektuje nazad ka čitaču (kasnije će biti više reči o ovoj problematici). Tipične primene: implanti za praćenje životinja, tagovi za upravljanje imovinom, pristupne kartice za vrata sa kontrolom pristupa i parking itd. Primer pasivnog RFID taga je prikazan na Sl. 5.

Aktivni RFID tag. Za razliku od pasivnog, aktivni RFID tag sadrži bateriju za napajanje mikroprocesora i memorije. Takođe, aktivni tag sadrži kompletan primopredajnik, koji koristi na samo za prijem, već i za emitovanje signala čime se postiže veći domet komunikacije i veća brzina prenosa podataka u poređenju sa refleksijom na koju se oslanja pasivni tag. Integrisana baterija omogućava aktivnim tagovima da podrže dodatne funkcije, poput senzora i sata realnog vremena. Međutim, upravo zbog baterije, vek trajanja aktivnih tagova je ograničen. Takođe, aktivni tagovi su znatno skuplji od pasivnih i stoga se koriste samo za praćenje predmeta velike vrednosti, kao što su cela paleta proizvoda, vozilo ili kontejner za transport. Postoji i varijanta aktivnog RFID taga, pod nazivom bikon-tag (*beacon*), koja, bez prijema upita od čitača, periodično emituje signal sa svojom informacijom.

Semi-aktivni RFID tag. Varijanta aktivnog taga koja koristi bateriju za napajanje, ali samo nakon što čitač aktivira tag. Odnosno, energija koju emituje čitač aktivira tag, koji zatim koristi internu bateriju za sopstveno napajanje. Kao i pasivni, semi-aktivni ne poseduje RF predajnik već reflektuje signal čitača. Najbolji primer ovog tipa taga je uređaj montiran u vozila koji se koristi za elektronsku naplatu putarine na auto-putevima. Baterija u semi-aktivnom tagu obično traje nekoliko godina, s obzirom da se koriste samo kada je tag u elektromagnetnom polju čitača.

***Read-only* i *read-write* tagovi.** RFID tagovi se takođe mogu klasifikovati u sledeće dve kategorije: *read-only* (samočitajući) i *read-write* (upisno-čitajući). Kod *read-only* tagova, identifikacioni broj (EPC) je permanentno upisan u memoriju taga tokom proizvodnje i ne može se naknadno menjati. Kod *read-write* taga postoji mogućnost upisa, odnosno promene, identifikacionog broja, što se postiže uz pomoć RFID čitača. Za *read-write* tagove je ključno da poseduju određene sigurnosne mehanizme kako bi se sprečilo da neautorizovana osoba menja sadržaj memorije taga.

Frekvencija	Tip	Domet	Brzina	NF/FF
125-135 kHz	Pasivan	Kratak domet (do 0.5m)	Mala	NF
13.56 MHz	Pasivan	Srednji domet (do 1.5m)	Srednja	NF
806-930 MHz	Pasivan	Srednji domet (do 5m)	Srednja-Velika	FF
433 MHz	Aktivan	Veliki domet (do 100 m)	Velika	FF
2.45 GHz	Aktivan	Veliki domet (do 10 m)	Veoma velika	FF

Sl. 6 RFID frekventni opsezi

Frekventni opsezi. U zavisnosti od tipa RFID sistema, domet, tj. maksimalno rastojanje između RFID čitača i taga, kreće se u rasponu od nekoliko centimetara do nekoliko desetina metara. Za manja rastojanja, po pravilu, koriste se niže, a za veća više frekvencije. Takođe, veća brzina prenosa podataka između čitača i taga, zahteva upotrebu viših frekvencije. U tabeli na Sl. 6 su navedeni frekventni opsezi

koje se najčešće koriste kod RDIF sistema. NF i FF u koloni NF/FF (*Near field/far field* - oblast bliskog i dalekog polja) se odnosi na to da li je sistem predviđen za rad u *Near Field* (NF) ili *Far Field* (FF) režimu. Razlika između ova dva režima je u vezi s rastojanjem čitač-tag i načinom kao se ostvaruje interakcija između njih. U režimu NF, za interakciju se koristi induktivna sprega između antena čitača i taga. U FF režimu, interakcija se ostvaruje putem elektromagnetskih talasa.

Klase RFID tagova. Shodno svojim karakteristikama i podržanom funkcionalnošću, RFID tagovi se svrstavaju u 4 (standardne) klase, kao u tabeli na Sl. 7. *Read-only* pasivni tagovi osnovne funkcionalnosti pripadaju klasi 1. U klasi 2 su *read-write* pasivni tagovi. Semi-aktivni tagovi su u klasi 3, a aktivni u klasi 4.

Tag Class	Type	Characteristics and Options
Class-1	Passive; identity tags	Includes EPC, tag identifier (ID), and a destroy password (discussed later in the chapter); may include optional password-protected access control and user memory
Class-2	Passive; higher functionality	Includes all features of Class-1 plus: extended tag ID, extended user memory, authenticated access control, and additional features to be defined in Class-2 specification (see GS1/EPCglobal)
Class-3	Battery-assisted passive (also called semi-active or semi-passive)	Includes all features of Class-2 plus: a power source; may include sensors with optional data-logging capabilities
Class-4	Active	Includes EPC, extended tag ID, authenticated access control, power source, and autonomous transmitter (can initiate communications with a reader if the protocol in use permits, but must not interfere with Class-1, Class-2, and Class-3 communication protocols); can optionally include user memory and optional sensors with or without data logging

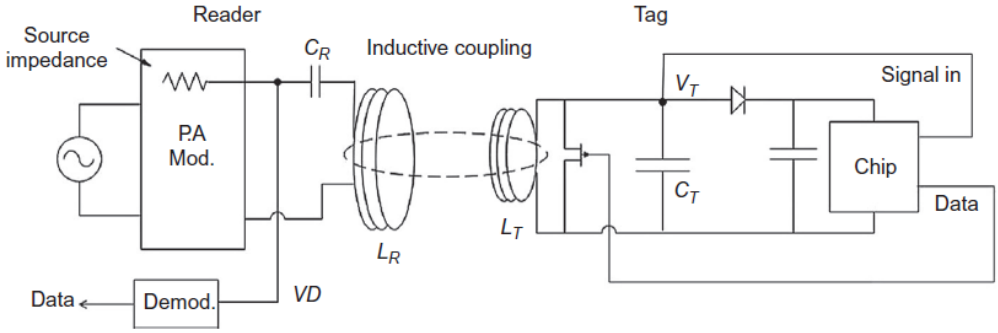
Sl. 7 Standardne klase RFID tagova (*EPCGlobal*)

3.1.4 Near Field RFID

Kada je prijemna antena na relativno velikom rastojanju od predajne, energija se iz predajne prenosi prijemnoj anteni putem radijacije (tj. putem elektromagnetnih talasa). Kaže se da je prijemna antena u dalekom polju (*Far Field*) predajne antene. Međutim, ako je rastojanje prijemne od predajne antene malo, odnosno ako je prijemna antena u bliskom polju (*Near Field*) predajne antene, dolazi do međusobnog uticaja, tj. sprege dve antene. Antene se ponašaju kao dva kalema na malom rastojanju, a u takvim uslovima, kao što znamo, dolazi do pojave induktivne sprege, tj. međusobne induktivnosti (i kapacitivnosti). Energija se sada ne prenosi radijacijom, već indukcijom, slično kao kod transformatora, gde antena (kalem) predajnika igra ulogu primarnog, a antena (kalem) prijemnika ulogu sekundarnog namotaja transformatora. Efekat bliskog polja se ispoljava na rastojanjima koja su mnogo manja od talasne dužine elektromagnetnog zračenja koje emituje predajna antena. Granica nije stroga, ali se, po pravilu, usvaja da efekat bliskog polja postoji na rastojanju manjem od $\lambda/2\pi$. Prenos indukcijom je značajno efikasniji nego radijacijom, u smislu da se veći deo energije koju odaje predajnik (u ovom slučaju RFID čitač) može preneti prijemniku (RFID tag). Pasivni RFID tagovi se koriste isključivo u NF režimu.

Na Sl. 8 su prikazani RDIF čitač i tag, koji su induktivno spregnuti putem svojih antena. Kod NF RFID, antene su zapravo kalemi. Za rad na nižim frekvencijama ($125\ kHz$), kalemi čitača i taga imaju feritno jezgro sa većim broj namotaja. Na višim frekvencijama ($13.5\ MHz$), antene (kalemi) se pravougaonog oblika sa po tek nekoliko namotaja i obično se izvode na štampanoj ploči (kao na Sl. 5). Čitač pobuđuje svoj kalem kontinualnom prostoperiodičnom strujom (sinusnog oblika). Zbog induktivne sprege, u kalemu taga se indukuje naizmenični napon, koji se, dalje, ispravlja diodom. Energija, koja se na ovaj način nagomilava na kondenzatoru (neposredno uz *Chip*), koristi se za napajanje elektronike taga.

RFID čitač prenosi informaciju tagu tako što amplitudski moduliše struju kojom napaja svoj kalem. Promena jačine ove struje izaziva promenu amplitude napona na krajevima kalema na strani taga. Tag prati ove promene (*Signal in*) i tako prima poslatu informaciju. Za komunikaciju u suprotnu stranu (od taga ka čitaču), tag zatvara/otvara tranzistor koji spaja krajeve kalema u ritmu binarne informacije (tipa, 01001110...) koji želi da pošalje. Zatvoren tranzistor kratkospaja kalem taga, što izaziva promenu napona na krajevima kalema čitača. Praćenjem ovih promena, čitač prima poslatu informaciju (*Demod*.).



Sl. 8 Induktivna sprega RFID čitača i taga

Dobre strane NF komunikacije su:

- Malo rastojanje između čitača i taga je efikasan način za zaštitu privatnosti (malo je verovatno da će informacije biti „uhvaćene“ sa velike udaljenosti)
- Okruženje ima mali uticaj na performanse i kvalitet interakcije čitač-tag (manja interferencija)
- Induktivna sprega omogućava efikasni prenos energije iz čitača ka tagu – mogućnost bežičnog napajanja taga
- Induktivna sprega se može ostvariti i kroz većinu (dijalektičkih) materijala
- Visoka pouzdanost

Loše strane NF komunikacije su:

- Ograničeni domet (uprkos svojim prednostima) može biti ograničavajući za primene koje zahtevaju veći domet komunikacije
- Komunikacija u bliskom polju obično ima niže brzine prenosa podataka u poređenju sa komunikacijom u dalekom polju
- U nekim RFID sistemima za rad u bliskom polju, tag mora biti u direktnom kontaktu sa čitačem. Čak i kada to nije zahtev, tag mora biti precizno pozicioniran u odnosu na čitač, odnosno kvalitet komunikacije je osetljiv na poziciju taga
- Ograničenje na interakciju 1-na-1 (1 čitač, 1 tag)

3.1.5 Far Field RFID

Daleko polje (*Far Field* – FF) radio talas se proteže počev od rastojanja $2D^2/\lambda$, gde je D najveća dimenzija antene. Radna frekvencija FF RFID je tipično u UHF bendu, $433\ MHz$. Za polu-talasnu antenu na ovoj frekvenciji, daleko polje počinje od oko $35\ cm$. Za frekvenciju $2.5\ GHz$, daleko polje je već počev od $6\ cm$ od predajne antene.

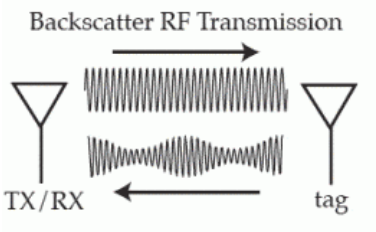
Pasivni i semi-aktivni FF RFID uređaji su slični radaru, po tome što tag reflektuje deo energije koju je čitač emitovao u pravcu taga. Razlika u odnosu na radar (gde se radio signal, prosto, odbija (reflektuje) od mete) je u tome što FF RFID tag, kao odgovor na primljeni signal, “moduliše“ antenu, što kao posledicu ima amplitudsku (ili faznu) modulaciju reflektovanog signala, koji onda prima prijemnik

čitača (Sl. 9). Naime, svaka antena delom apsorbuje, a delom reflektuje RF signal. Odnos između reflektovane i apsorbovane energije se naziva koeficijent refleksije i zavisi od usklađenosti impedanse antene i impedanse prijemnika. Ova neusklađenost dovodi do toga da se elektromagnetni talas delom reflektuje od samog (ulaza) prijemnika, vraća anteni i reemituje u prostor.

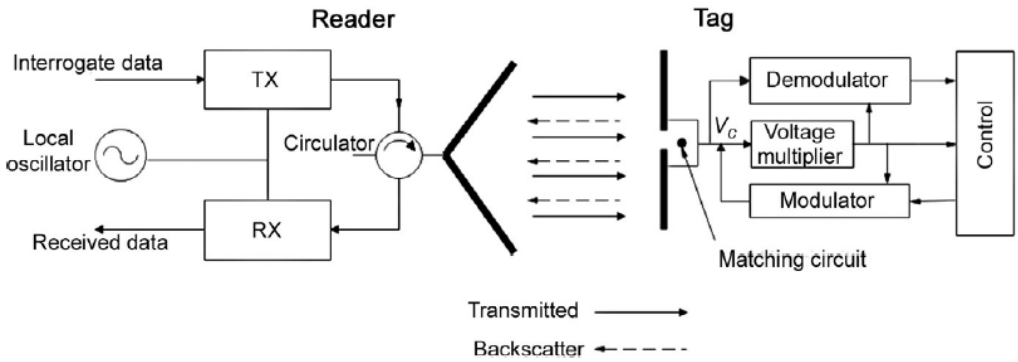
Pasivni UHF FF RFID sistem je prikazan na Sl. 10. Čitač emituje CW (*Continuous Wave*) signal, tj. kontinualni sinusni signal, koji je modulisan komandom prozivke taga. Tag koristi napon na prijemnoj anteni za sopstveno napajanje, budući da ne poseduje drugi izvor napajanja. Takođe, tag demoduliše primljeni signal i ako u poruci prepozna odgovarajuću komandu, odgovara tako što moduliše impedansu antene svojim EPC i drugim podacima. Možemo zamisliti da je antena taga oblika dipla i da su dva kraka antene spojena tranzistorom koji radi u prekidačkom režimu. Kada je tranzistor zakočen (otvoren), antena reflektuje primljeni CW signal u punom obimu. Kad je tranzistor aktivan (zatvoren), dva kraka antene su kratko-spojena, njena impedansa je promenjena, pa time i koeficijent refleksije, odnosno, antena reflektuje značajno manji deo primljene energije. Čitač prima i demoduliše reflektovani signal. Opisani princip radio komunikacije, koji se oslanja na reflektovanje radio signala, zove se *backscattering* (raspršivanje).

Potrebno je uočiti da čitač istovremeno emituje CW signal i prima reflektovani signal, i to preko iste antene. Kako je to moguće? Ključni element u arhitekturi čitača je tzv. *cirkulator*. To je pasivna RF komponenta koja omogućava jednosmerni protok signala između tri različite tačke. Signal koji potiče iz predajnika (TX) se kroz cirkulator usmerava ka anteni, a signal koji dolazi iz antene (primljeni reflektovani signal) se od antene sprovodi ka prijemniku (RX).

Iako UHF komunikacija omogućava veliki domet čak i sa malom predajnom snagom (reda desetina i stotina metara), maksimalno rastojanje između RFID čitača i taga je značajno manje, ograničeno iz nekoliko ključnih razloga. Prvo, snaga signala na strani taga mora biti dovoljno visoka kako bi se osiguralo adekvatno napajanje taga. Drugo, reflektovani signal takođe mora biti dovoljno snažan kako bi čitač mogao uspešno da ga demoduliše. Zbog ovih zahteva, jačina signala koji stiže do taga mora biti značajno veća od one koja je potrebna samo za proces demodulacije.



Sl. 9 Princip *backscatter* komunikacije



Sl. 10 Interakcija RFID čitača i taga u dalekom polju

Dobre strane FF RFID komunikacije su:

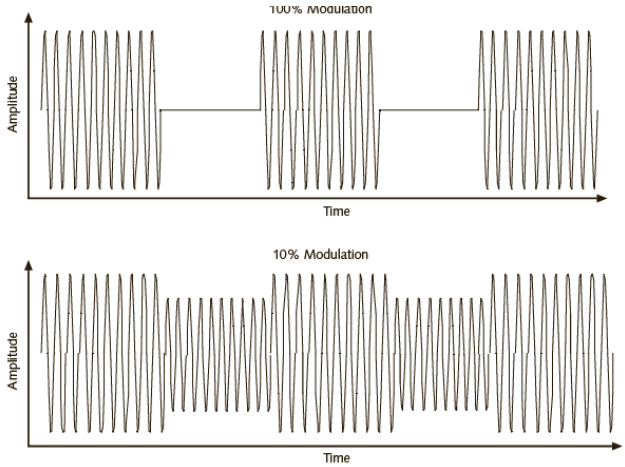
- Veći domet komunikacije
- Veća brzina prenosa podataka
- FF RFID omogućava istovremeno praćenje i komunikaciju sa većim brojem tagova
- Manja osetljivost na poziciju taga (bitno je samo da je tag u dometu čitača)

Loše strane FF RFID komunikacije su:

- Veći rizik od interferencije od drugih RF izvora i uređaja
- Veća potrošnja energije (veća izlazna snaga čitača)
- Veći rizik od narušavanja privatnosti komunikacije
- Viša cena sistema

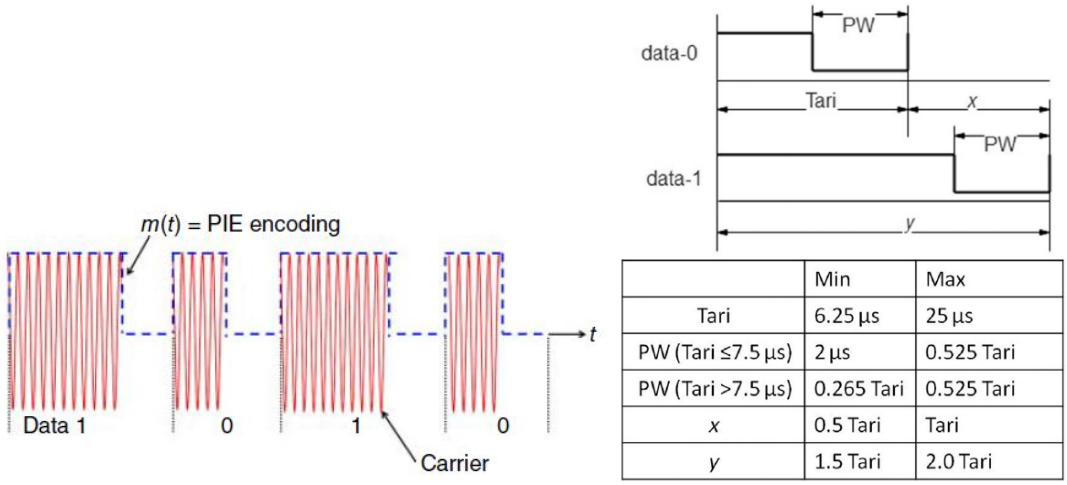
3.1.6 Modulacija i kodiranje podataka

Signal koji emituje RFID čitač ima višestruku namenu: budi (aktivira) tag (u slučaju semi-aktivnog taga), obezbeđuje napajanje (pasivnog) taga, prenosi informaciju od čitača ka tagu i obezbeđuje povratnu komunikaciju od taga ka čitaču (*backscattering*). U slučaju pasivnog taga, čitač mora neprekidno da emituje signal, kako pasivni tag ne bi ostao bez napajanja i kako bi mogao da *backscattering*-om šalje svoje podatke čitaču. Što se tiče komunikacije (prenosa podataka), ona je uvek tipa polu-dupleks (*half-duplex*), u smislu da ili čitač šalje podatke tagu, ili tag šalje podatke čitaču (putem *backscattering*-a), ali nikad u isto vreme.



Sl. 11 ASK modulacija

Kod većine RFID sistema, koriste se jednostavni načini digitalne modulacije, poput amplitudske modulacije (ASK), gde se informacija utiskuje u signal promenom amplitude signala, kao na Sl. 11. Na prvom grafikonu je prikazan ASK signal sa 100% modulacijom (OOK modulacija), dok je nivo modulacije na drugom grafikonu samo 10%. Signal sa 10-procentnom modulacijom je osetljiviji na šum i interferenciju, ali, zbog veće snage koju nosi ima i veći domet. S druge strane, tag će lakše demodulisati signal sa 100-procentnom modulacijom. Međutim, u ovom slučaju, tokom perioda kada nema signala nema ni napajanja taga, pa distanca čitač-tag mora biti značajno manja. U praksi se koristi nivo modulacije između 10 i 100%.



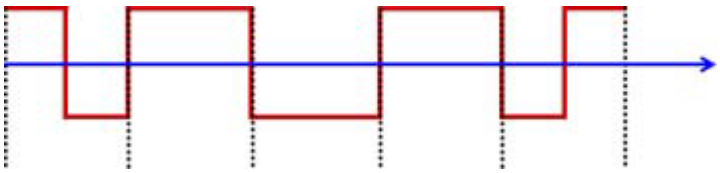
Sl. 12 PIE kodiranje

Pretpostavimo da podaci od čitača ka tagu prenose u osnovnom opsegu, tj. da se, prosto, binarnoj „1“, odgovara signal veće, a binarnoj „0“ signal manje amplitude (koja može biti i veoma mala ako se koristi visok nivo modulacije). U takvim uslovima, problem nastaje kada čitač šalje dugačak niz uzastopnih 0 – zbog smanjenog nivoa signala, jer je ugroženo napajanje taga. Da bi se ovaj problem prevazišao, čitač, pre modulacije, kodira podatke korišćenjem tzv. impulsno-intervalnog kodiranja (*PIE – Pulse-Interval Encoding*). Kod ovog načina kodiranja, 1-ca se predstavlja širim, a 0 užim impulsom (Sl. 12). „Pauza“ između svaka dva uzastopna bita je uvek istog trajanja (PW). Primenom PIE kodiranja, tag dobija energiju od čitača bilo da se prenosi 1 ili 0, s tim što je iznos energije nešto manji kada se prenosi 0 (zbog užeg impulsa). Osnovni vremenski parametar je *Tari* (vidi Sl. 12), u odnosu na koji se određuju trajanja impulsa 1ce i 0, kao i pauze. Maksimalna brzina prenosa podataka iznosi $85\ Kbps$.

Tag, kada šalje svoje podatke, koristi drugačiju šemu kodiranja podataka od čitača. U upotrebi je više takvih šema, ali ovde će biti predstavljena samo jedna od njih, poznata pod skraćenicom FM0. Pravila za kodiranje šemom FM0 su sledeća:

1. Nivo se menja na početku svakog bit intervala
2. Logička 1ca se kodira konstantnim nivoom tokom celokupnog bit-intervala
3. Logička 0 se kodira promenom nivoa na sredini bit-intervala

Na Sl. 13 je prikazan FM0 kodiranje bit-sekvence 01110. Signal koji vidimo na slici je zapravo signal koji upravlja tranzistorom za modulaciju impedanse antene. Bitska brzina prenosa tag-čitač je u rasponu od 40 do $640\ kbps$.

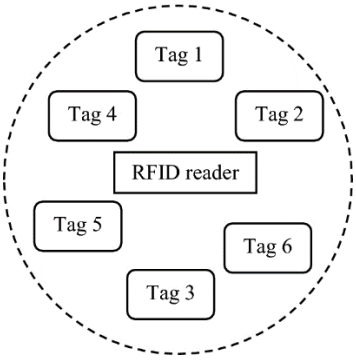


Sl. 13 FM0 kodiranje

3.1.7 Identifikacija tagova

Kod HF RFID sistema, jedina moguća konfiguracija je jedan čitač – jedan tag. Čitač šalje tagu komandu prozivke i tag (onaj koji je primaknut čitaču) odgovara slanjem svoji podataka (EPS, CRC, *destroy password*). Na primer, u primenama kao što su očitavanje platne kartice i tag za otvaranje ulaznih vrata, čitač je uvek u interakciji sa najviše jednim tagom. Međutim, za razliku od toga, kod FF RFID

sistema, koji poseduju daleko veći domet, uobičajena konfiguracija je jedan čitač – više tagova (Sl. 14). Na primer, u skladištu u kome svaki proizvod ima svoj tag, komandu upita koju šalje čitač prima veliki broj tagova. Ukoliko bi svi oni odgovorili u isto vreme, u anteni čitača bi nastala kolizija, odnosno mešanje modulisanih reflektovanih signala i čitač ne bi primio nikakvu korisnu informaciju. Čitač, naravno, može da proziva pojedinačne tagove, jedan po jedan, navodeći u upitu ID taga kome se obraća. Međutim, ovo podrazumeva da čitač zna ID-ove svih tagova u svom dometu, što nije ni praktično, a ni uvek moguće. Na primer, šta ako se u skladište unese novi proizvod sa svojim tagom za koji čitač ne zna. Ili, često, od je interesa informacija o tome koliko proizvoda trenutno ima u skladištu, a ne da li je konkretni tag prisutan u skladištu. Da bi se rešio ovaj problem, RFID sistemi koriste posebne tzv. anti-kolizione protokole koji omogućavaju konkurentno očitavanje velikog broja tagova.



Sl. 14 Konfiguracija jedan RFID čitač više tagova. Isprekidana kružnica omeđuje prostor prozivke čitača – svi tagovi u ovom prostoru mogu da komuniciraju sa čitačem

Osnovna ideja anti-kolizionog protokola je da pasivni tag, koji se našao u elektromagnetnom polju čitača, i primio poruku prozivke, odgovara na ovu poruku slanjem svojih identifikacionih podataka nakon slučajno izabranog vremenskog kašnjenja. Pretpostavka je da neće svi tagovi izabrati isto vreme kašnjenja. Nakon što primi identifikacije tagova, čitač može pojedinačno da se obraća svakom od njih. Sve ovo se postiže procedurom koja obuhvata nekoliko koraka koji čine jednu sesiju prozivke:

(1) *Select*. Čitač šalje komandu, ili niz tzv. *select* komandi ka svim tagovima u dometu. Komanda *select* nosi informaciju o tome za koje tagove je čitač zainteresovan. Kriterijum za selekciju nalikuje bit-maski, kojom se označavaju bitovi u ID-u taga koji treba da imaju određenu vrednost. Na primer, čitač želi da stupi u kontakt sa svim tagovima čiji ID počinje bit-sekvencom „110“. Izabrani bitovi ne moraju biti uzastopni, već to može biti bilo koji podskup bita ID-a. Tagovi ne odgovaraju na komandu *select*, već, umesto toga, oni koji zadovoljavaju postavljeni kriterijum, prosto, setuju određeni fleg u svojoj memoriji kao indikaciju (podsetnik) da su prozvani. Izabrani tagovi prelaze u sledeću fazu, dok svi ostali napuštaju tekuću sesiju, tj. isključuju se iz dalje komunikacije.

(2) *Inventory*. Čitač šalje komandu *Query* kojim inicira jednu rundu „popisivanja inventara – *inventory round*“. Ova komanda sadrži parametar Q, koji definiše broj vremenskih slotova u rundi, određen izrazom $2^Q - 1$. Svaki tag, koji je selektovan u koraku *Select*, nasumično bira ceo broj iz opsega 0 do $2^Q - 1$ i njime inicijalizuje svoj tzv. brojač slotova, koji brojanjem unazad prebrojava protekle slotove. Kada vrednost brojača slotova dostigne nulu, tag generiše 16-bitni (pseudo-)slučajni broj, RN16, i šalje ga čitaču putem *backscattering*-a. Ukoliko ne dođe do kolizije (tj. odazvao se samo jedan tag), čitač uspešno prima poruku taga i, u istom slotu, šalje tom tagu poruku potvrde, ACK, koja sadrži isti RN16. Nakon što tag primi potvrdu, odgovara slanjem svojih identifikacionih podataka (EPC). Ukoliko je čitač detektovao koliziju u nekom od slotova runde popisivanja inventara, on može da pošalje komandu *QueryAdjust*

kako bi dinamički promenio (po pravilu, inkrementirao) vrednost parametra Q za sledeću rundu. Ovo podešavanje pomaže u efikasnijem razrešavanju kolizije u narednoj rundi (više slotova, manja šansa da dva ili više taga izaberu isti slot). Takođe, čitač može da pošalje i komandu *QueryRep* radi ponavljanja runde pod istim uslovima. Time se daje nova šansa tagovima koji nisu uspeli da odgovore u prethodnim rundama. Koliko rundi traje popisivanje inventara? Ne postoji univerzalno pravilo, već ono zavisi od konkretne primene. Na primer, čitač može da završi inventarisanje kada prozove sve tagove (što, naravno podrazumeva da čitač unapred zna koji tagovi bi trebalo da budu prisutni), ili nakon što istekne unapred zadato maksimalno vreme inventarisanja. Faza popisivanja inventara takođe može da se završi ako se u tekućoj rundi, ili u poslednje dve, nije odazvao ni jedan tag.

(3) *Access*. Nakon što je inventar popisan, čitač poseduje identifikacione podatke (EPC) svih tagova u svojoj okolini i u mogućnosti je da se obraća tagovima, pojedinačno, radi preuzimanja dodatnih podataka, upisa u memoriju tag i raznih drugih operacije, među kojima je operacija *Kill* kojom se tag trajno deaktivira (*destroy password*).

3.2 NFC

NFC (*Near Field Communication*) tehnologija je veoma slična RFID, tako da pojedini tipovi RFID čitača mogu takođe da očitavaju i NFC tagove. NFC funkcioniše isključivo u bliskom polju (NF) na rastojanju od oko 5 do $10\ cm$ između (jednog) taga i čitača, tj. uređaja koji podržava NFC. NFC radi na frekvenciji $13.56\ MHz$. Brzina prenosa podataka je od $106\ kbps$ do $424\ kbps$, što je dovoljno za primene kao što je očitavanje platnih kartica, pa čak i prenosa obimnijih podataka između dva uređaja sa podrškom za NFC, kao što su dva mobilna telefona. NFC komunikacioni protokol omogućava baterijski napajanim uređajima da razmenjuju informacije i, ako su autorizovani za to, čitaju/upisuju podatke preko sigurne i šifrovane komunikacije. Kao i kog RFID, NFC tagovi mogu biti aktivni i pasivni. Pasivni su predviđeni samo za čuvanje fiksne informacije, dok aktivni, pored toga što mogu da skladište fleksibilniju informaciju, poput veb adrese, komandi i instrukcija, mogu da obavljaju i dodatnu obradu informacija.

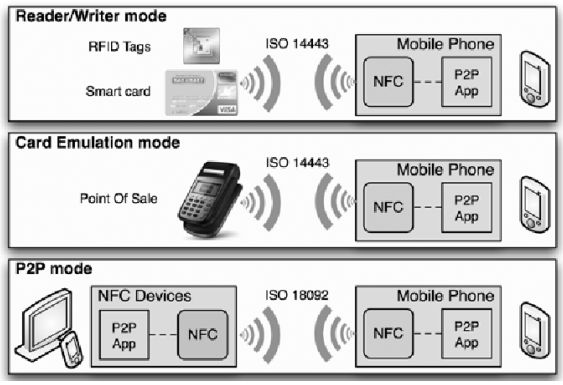
NFC tehnologija je inkorporirana u mnoge savremene pametne telefone i tablete. Na primer, kada se dva pametna telefona prinesu jedan do drugog, oni mogu preko NFC-a da razmene instrukcije o tome kako da uspostavite međusobnu Bluetooth ili WiFi konekciju radi prenosa veće količine podataka (npr. slika ili video). Drugim rečima, slika i video su obično previše veliki za prenos preko relativno sporog NFC-a, ali se zato NFC može koristiti kao pomoćni komunikacioni kanal za razmenu informacija neophodnih za uspostavljanje mnogo brže Bluetooth ili direktne WiFi konekcije između dva uređaja, preko koje će se ostvariti prenos. Sistemi plaćanja, poput *Google Wallet* ili *Apple Pay* koriste NFC za prenos informacija iz odgovarajuće aplikacije na telefonu ka terminalu za plaćanje. Platne kartice tipa „*tap-to-pay*“, koje je dovoljno prisloniti na terminal za plaćanje, takođe koriste NFC.

Osnovni NFC standard predviđa tri načina rada NFC uređaja (Sl. 15):

(1) *Read-write mode*. Omogućava NFC uređaju (npr. mobilni telefon) da čita informaciju koja je smeštena u NFC tagu, odnosno da upisuje informaciju u tag.

(2) *Pear-to-pear mode*. Omogućava komunikaciju između dva NFC uređaja (npr. dva mobilna telefona) radi razmene informacija ili deljenja fajlova. Tipičan primer je onaj sa prenosom slika i videa, gde se NFC koristi za iniciranje brzog prenosa preko Bluetooth ili WiFi.

(3) *Card emulation mode*. Omogućava NFC uređajima, poput mobilnog telefona, da deluju kao pametna kartica. U ovom režimu, telefon komunicira sa eksternim čitačem na isti način kao tradicionalna beskontaktna pametna kartica.



Sl. 15 Tri načina rada NFC-a

NFC podržava dva načina komunikacije između dva NFC uređaja: aktivna i pasivna komunikacija. Pasivna komunikacija je poput komunikacije kod NF RFID. Jedna strana u komunikaciji igra ulogu čitača, a druga pasivnog taga; čitač je aktivni uređaj i emituje elektromagnetno polje, koje se koristi za napajanje pasivnog taga, prenos podatka od čitača ka tagu, kao i od taga ka čitaču. Ovaj način komunikacije se koristi za režime „*Read-write*“ i „*Card emulation*“.

Aktivna komunikacija se koristi u „*peer-to-peer*“ načinu rada i podrazumeva da oba uređaja imaju sopstveno napajanje i za prenos svojih podataka generišu sopstveno elektromagnetno polje. Na ovaj način se obezbeđuje mogućnost za veću brzinu prenosa podataka u oba smera (do $424\ kbps$).

3.3 Vodič za učenje

RFID

- Osnovni princip rada RFID (čitač i tag) i tipične primene ove tehnologije
  - EPC. Šta je to i čemu služi? Format (koje informacije sadrži, ali nije neophodno i koje dužine)
  - Struktura osnove (minimalne) informacije smeštene u memoriji taga.
  - Tipovi tagova. Pasivni, aktivni tag i semi-aktivni tagovi. Read-only/Read-write tagovi.
  - Frekventni opsezi. Nije potrebno učiti konkretne vrednosti, već samo opšte napomene (niže frekvencije za kraći domet i sl.)
  - Klase tagova – samo informativno
- NF RFID tagovi
  - Blisko i daleko polje antene
  - Princip rada NF RFID taga, induktivna sprega (Sl. 8). Nije neophodno da učite sliku, već bi trebalo da možete da objasnite princip rada gledajući sliku)
  - Prednosti i nedostaci
- FF RFID
  - Princip rada FF RFID, *backscattering* (Sl 10). Nije neophodno da učite sliku, već bi trebalo da možete da objasnite princip rada gledajući sliku)
  - Prednosti i nedostaci
- Modulacija i kodiranje podataka
  - Modulacija i kodiranje podataka za smer prenosa čitač-tag. ASK i PIE. Nije potrebno pamtiti vremenski dijagram, već samo znati objasniti princip kodiranja
  - Modulacija i kodiranje podataka za smer prenosa tag-čitač (FM0)
- Identifikacija tagova

- Postavka problema identifikacije tagova (konfiguracija jedan čitač više tagova) i uloga i osnovni princip anti-kolizionog protokola
- Anti-kolizioni protokol. Potrebno je da možete da objasnite rad protokola u sve tri njegove faze

NFC

- Osnovne razlike u odnosu na RFID
- Primene
- Tri načina rada (*Read-write, Card emulation, Peer-to-peer*)
- Dva načina komunikacije: pasivni i aktivni

- ♦ ♦ ♦ -