



**VISOKA POSLOVNA ŠKOLA
STRUKOVNIH STUDIJA
ČAČAK**

DIPLOMSKI RAD

**Arhitektura i organizacija radiokomunikacionog sistema
“Miloš”**

Mentor: _____
Profesor: _____

Student: _____
Br.Indeksa: _____

Sadržaj

Uvod	1
1. Istraživački meteorološki sistem Miloš 200	2
1.1. Konfiguracija sistema Miloš 200	2
1.2. Struktura radio-modema tipa RS1200/1201	3
1.2.1. Principijelna šema i način rada	3
1.2.2. Struktura RDL predajnika	4
1.2.3. Struktura RDL prijemnika	6
1.3. Preporučene antene	14
1.4. Problemi koji su primećeni u radu	15
1.5. Zaključak prvog poglavlja	16
2. Savremeni digitalni telekomunikacioni sistemi	17
2.1. OSI referentni model sistema i Internet protokoli	17
2.1.1. OSI - Sedam nivoa komunikacije	17
2.1.2. Internet protokoli	21
2.1.2.1. IP – Internet Protocol	22
2.1.2.2. TCP – Transmission Control Protocol	24
2.2. Mobilni telekomunikacioni sistemi	26
2.2.1. Standard GSM	27
2.2.1.1. GSM radio-interfejs	27
2.2.1.2. Sistemske komponente GSM mreža	31
2.2.2. Standard GPRS	33
2.2.2.1. GPRS radio-interfejs	33
2.2.2.2. EDGE	35
2.2.3. Standard TETRA	36
2.2.4. Mreže treće generacije – UMTS i ITM-2000	38
2.2.4.1. Radio-interfejs 3G sistema	38
2.2.5. Satelitske mreže za prenos podataka	42
3. Savremene merne službe	44
3.1. Uvod - savremeno tržište telekomunikacija	44
3.2. Rad mernih službi u IP okruženju	45
3.2.1. Problem poslednjeg kilometra	46
3.2.2. Prenos podataka putem Internet-a	47
3.2.3. Organizacija privatnih mreža uz pomoć GPRS-a	48
3.2.4. Lokalni i hijerarhijski organizovani merni sistemi	49
3.2.4.1. Merni moduli kompanije Nordic Semiconductor	50
4. Zaključak	57
5. Indeks pojmova	58
6. Literatura	60

Uvod

Pod prenosom mernih podataka se podrazumeva prenos podataka dobijenih sa udaljenih senzora do ulaza sistema za akviziciju koji ove podatke prihvata i prosleđuje do centralnog dela sistema koji dalje postupa po zadatom programu. U zavisnosti od prirode sistema koji barata podacima, govorimo o mernim sistemima, sistemima automatskog upravljanja, sigurnosnim sistemima itd.

Podaci se mogu pribavljati sa udaljenih senzora na proizvoljan način, ali je čest slučaj da je prenos mernih podataka bar u jednom svom delu realizovan kao radio-prenos. Nekoliko je razloga za to. Pre svega, radio-prenos predstavlja najjednostavnije rešenje kada je potrebno preneti podatke sa merne stanice koja je od centralne udaljena preko 10km. Alternativni pristup jeste zakupljivanje postojećih žičanih telekomunikacionih vodova, što je gotovo uvek ekonomski manje povoljno rešenje. Osim toga, postoji i potreba pribavljanja kontrolnih i mernih podataka sa mobilnih stanica (uređaja), kada radio-prenos predstavlja jedino realno moguće rešenje. Najzad, u svetu savremenih računara postoji težnja da se periferni uređaji koji čine jedan lokalni računarski sistem povezuju sa centralnim računarom putem naročitih radio-interfejsa, tako da se na malom području formira tzv. bežična LAN mreža (Local Area Network - lokalna mreža) koja zamenjuje brojne kablove za povezivanje perifernih uređaja. Ova tehnologija danas postaje vrlo široko prihvaćena, a ovakvi radio-interfejsi su vrlo pogodni i za prenos mernih podataka na malim udaljenostima, u onim sistemima u kojima postoji jako veliki broj prostorno razduženih senzora, tako da je ekonomski isplativije da se izbegne postavljanje velikog broja vodova, već se podaci prenose do manjeg broja lokalnih sabirnih stanica, a zatim se od njih do ulaza centralnog dela sistema vode na proizvoljan način.

U prvom poglavlju ovog rada će biti opisan eksperimentalni automatski meteorološki sistem "Miloš 200", koji koristi tehnologiju iz osamdesetih godina, a pušten je u rad na teritoriji opštine Čačak početkom devedesetih godina XX veka. Na njegovom primeru će biti objašnjeni osnovni principi prenosa podataka sa više udaljenih do jedne centralne stanice, pri čemu će najviše prostora biti posvećeno analizi radio-interfejsa ovog sistema, odnosno upotrebljenih radio-modema. Na kraju prvog poglavlja će biti skrenuta pažnja na određene probleme do kojih je došlo tokom rada ovog sistema, koji su direktna posledica nedovoljno razvijene prenosne tehnologije.

U drugom poglavlju će biti opisan veći broj savremenih telekomunikacionih tehnologija, koje mogu da posluže kao osnova za formiranje moćnijih i efikasnijih mernih sistema. Pri tom će na samom početku biti objašnjen OSI referentni model digitalnih prenosnih sistema, a preostali prostor će biti raspodeljen u skladu sa značajem koji pojedini telekomunikacione tehnologije imaju danas, odnosno koji bi mogle da imaju u najskorijoj budućnosti.

U trećem poglavlju će biti pomenuti izvesni savremeni pogledi na organizaciju digitalnih računarskih telekomunikacionih sistema, koji počinju da dominiraju svetom telekomunikacija u celini. Biće opisana dva pristupa organizovanju velikih akvizicionih i mernih sistema, formiranjem VPN mreže i formiranjem mreže lokalnih mernih sistema, i biće istaknute prednosti hijerarhijske organizacije velikih sistema koja je primenjena kod mreže lokalnih mernih sistema. Kao primer nivoa efikasnosti i fleksibilnosti koje je moguće postići potonjim pristupom, na samom kraju će biti sa nešto više detalja opisana najsavremenija tehnologija kompanije Nordic Semiconductor.

1. Istraživački meteorološki sistem Miloš 200

1.1. Konfiguracija sistema Miloš 200

Istraživački meteorološki sistem Miloš 200 se sastoji od jednog centralnog nadzorno-kontrolnog mesta sa centralnom meteorološkom stanicom i tri udaljene automatske meteorološke stanice. U sledećoj tabeli su navedene veličine koje je moguće pratiti opremom koja je instalirana u okviru pojedinih mernih stanica:

<i>ID broj stanice</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Temperatura vazduha	x	x	x	x
Temperatura površine tla	x	x	x	x
Temperatura zemljišta*	7	7	4	4
Vlažnost vazduha	x	x	x	x
Prisustvo padavina	x	x	x	x
Nivo padavina	x	x		
Vazdušni pritisak	x			
Pravac vetra	x	x		
Brzina vetra	x	x		
Osunčanost	x			
Nivo opšte radijacije	x			

** naveden je broj temperaturnih sonde postavljenih na različitim dubinama u zemljištu*

Merna stanica sa rednim brojem 1 je postavljena na krovu zgrade Instituta za voćarstvo i vinogradarstvo u gradu Čačku. Sa tri preostale merne stanice merni podaci se prikupljaju putem UHF radio-modema koji podatke prenose brzinom od 1200bit/sec. Prenos se vrši binarnom FSK modulacijom na frekvenciji od približno 470MHz, u okviru jednog radio-kanala iznajmljenog od strane Ministarstva za saobraćaj i telekomunikacije. Podaci sa sve četiri merne stanice se prikupljaju u centralnom IBM-PC kompatibilnom računaru, u kome se trajno čuvaju, a mogu se pregledati u tabelarnom ili grafičkom obliku, prenositi na druge računare i štampati na papiru, za šta je zadužen namenski softver Metnet kompanije Vaisala. Učestanost prikupljanja podataka je jedanput svakog minuta sa sve četiri merne stanice.

Sistem je tako konfigurisan da centralni računar redom, po unapred utvrđenom redosledu, proziva udaljene stanice na šta one odgovaraju standardnim porukama u kojima su sadržani merni i statusni podaci. U ovom sistemu se, dakle, koristi semi-duplex način komunikacije, što dozvoljava da se prenos u oba pravca vrši na samo jednom radio-kanalu.

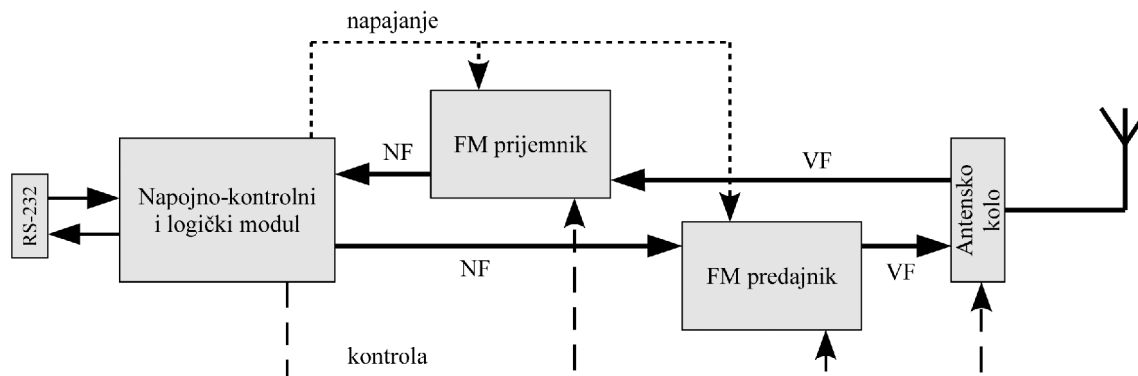
1.2. Struktura radio-modema tipa RS1200/1201

1.2.1 Principijelna šema i način rada

Za prenos mernih podataka u okviru sistema Miloš 200 su neposredno zaduženi radio-modemi tipa RDS1201 proizvođača Repco. Obzirom na mali broj komunikacionih tačaka u sistemu i mali ukupni sadržaj informacija koje se prenose, brzina od 1200bps je dovoljna i dozvoljava korišćenje spore binarne FSK modulacije. Na ovom mestu će biti navedeno samo nekoliko osnovnih parametara digitalnog prenosa podataka koji omogućavaju ovi modemi, a nešto detaljniji osvrt na savremene digitalne modulacione tehnike će biti dat u okviru drugog poglavlja ovog rada.

Modemi su dizajnirani sredinom osamdesetih godina XX veka, i u tom trenutku su predstavljali optimum u smislu cene, postignutog stepena integracije, pouzdanosti i ostvarenih radnih karakteristika. Krajem osamdesetih godina je vrlo slična konstrukcija radio-modema brzine 1200bps prihvaćena od strane radio-amaterske zajednice i mnogi primerci takvih uređaja i danas rade u okviru amaterskih mreža za paketni prenos podataka. Analiziraćemo detaljnije njihovu strukturu i ukazati na one osobine koje su bile ključne tokom njihovog osmišljavanja.

Naredna slika predstavlja blok-šemu modema RDS1200/12001. Uređaj se sastoji od tri odvojena modula na posebnim štampanim pločama: FM predajnika, FM prijemnika i modula za napajanje energijom, logičko upravljanje i kodiranje i dekodiranje FSK signala.



Slika 1.1 - Blok-šema radio-modema RDS 1200/1201

Predajnik i prijemnik su tipa RDL, proverene konstrukcije, podešeni su fabrički pre ugrađivanja u gotov uređaj i praktično ne zahtevaju nikakvo ili vrlo malo održavanje tokom eksploatacije. Sve upravljačke i logičke funkcije su ostvarene u okviru modula za napajanje, što znači da on upravlja radom predajnog i prijemnog modula, vrši formiranje osnovnog FSK signala koji se vodi na NF ulaz predajnika, i vrši FSK demodulaciju NF signala sa izlaza prijemnika. Na kontrolno-napojnom modulu postoji RS-232 port za direktno povezivanje sa PC-kompatibilnim računarom. Na taj način se kompletan radio-modem od strane računara vidi kao standardni (telefonski) modem brzine 1200bps. Osnovni zadatak radio-modema tipa RDS1200/1201 upravo i jeste zamena telefonskih modema u situacijama kada je postavljanje žičanih vodova neisplativo ili nemoguće (npr. na pokretnim mernim stanicama), a kada je potrebno ostvariti prenos digitalnih, prvenstveno mernih podataka po principu “od tačke do tačke” (point-to-point) ili “od tačke do više tačaka” (point-to-multipoint).

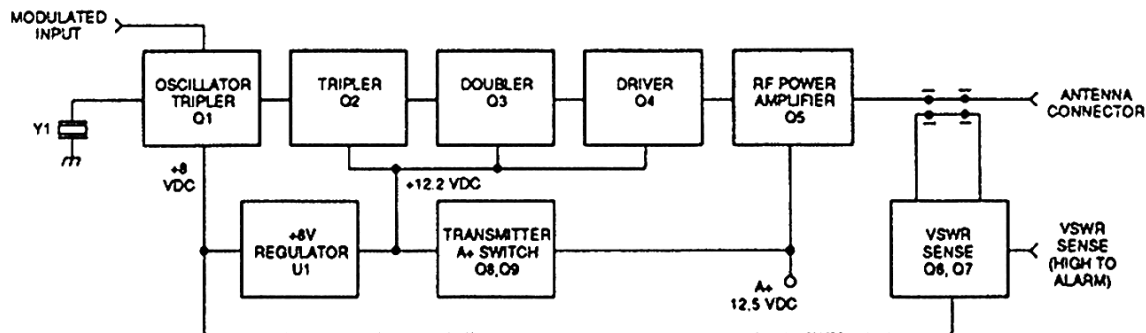
Ko što je rečeno, za komunikaciju sa PC-kompatibilnim računarom se koristi RS-232 port, za čiju su kontrolu zadužena dva namenska integrisana kola: U9 (SN75189, RS-232 Line Receiver) i U8 (SN75188, RS-232 Line Driver) na napojno-kontrolnom modulu modema. Ovaj način komunikacije je vrlo jednostavan, serijskog je tipa i maksimalne brzine 110kbps. Danas na tržištu postoji nekoliko novijih ulazno-izlaznih kontrolera za RS-232 portove (npr. MAX232), tako da se konstrukcija sličnih uređaja može dodatno pojednostaviti, a neki od njih omogućavaju

brzine prenosa i do 480kbps. Sâm RS-232 standard je uveden još šezdesetih godina XX veka upravo sa namerom da omogući povezivanje računara sa telefonskim modemima, tako da je njegova upotreba u ovom slučaju sasvim adekvatna. Kao što je već rečeno, radio-modemi RDS1200/1201 se od strane računara vide upravo kao standardni telefonski modemi.

Funkcije generisanja i demodulacije FSK signala su realizovane integrisanim kolima na ploči napojno-kontrolnog modula, ali kako one funkcionalno pripadaju predajniku i prijemniku (respektivno), načini njihove realizacije će biti objašnjeni u okviru odgovarajućih odeljaka teksta.

1.2.2. Struktura RDL predajnika

Naredna slika predstavlja blok–šemu RDL predajnika:



Slika 1.2 - Blok–šema predajnika

Predajnici su specifikirane maksimalne snage 2W pri neprekidnom radu, pri čemu struja napajanja iznosi 550mA. Harmonijska izobličenja NF signala su manja od 5%, snage “curenja” harmonijskih VF učestanosti manje od -50dB ispod nivoa osnovnog signala, a vreme dostizanja 90% nominalne snage zračenja i stabilnosti frekvencije po uključivanju iznosi maksimalno 5ms

FSK signal kojim se moduliše VF nosilac se dobija uz pomoć integrisanog kola U1 tipa XR2206 (monolitni generator funkcija). Na njegov ulaz (pin_9) se dovode unipolarni binarni podaci, a na izlazu (pin_2) se dobija osnovni FSK kvazisinusoidalni signal. Moguće je izabrati brzinu prenosa podataka od 300bps ili 1200bps. U oba slučaja je modulacija tipa FSK (Frequency Shift Keying – digitalna frekventna modulacija), kod koje se tokom trajanja logičke nule emituje jedna, a tokom trajanja logičke jedinice druga modulišuća NF frekvencija. Tačne FSK modulacone frekvencije koje koriste RDS1200/1201 modemi su navedene u narednoj tabeli:

<i>Brzina prenosa</i>	<i>300 bps</i>	<i>1200 bps</i>
logička nula	1070 Hz	1270 Hz
logička jedinica	1300 Hz	2100 Hz

Obe frekvencije se mogu fino podešavati putem dva trimmer-potencijometra. Ovakvim signalom se zatim vrši direktna frekventna modulacija VF nosećeg signala tako što se utiče na napon inverzne polarizacije varikap-diode u VCXO oscilatoru predajnika (Voltage Controlled Crystal Oscillator – naponski kontrolisani kvarcni oscilator).

The diagram illustrates the internal structure and external connections of the XR-2206 VCO and FSK generator. Key components and connections include:

- Power Supply:** $+V_{CC}$ is connected to pin 4. A $1\mu F$ capacitor is connected between pin 4 and ground. V_{CC} is connected to the bottom of a voltage divider (two $5.1K$ resistors) and a $10\mu F$ capacitor.
- Control Inputs:**
 - Pins 1 and 5 are connected to ground.
 - Pins 6 and 8 are connected to ground.
 - Pins 7 and 9 are connected to ground through resistors R_1 and R_2 respectively.
 - Pins 10 and 12 are connected to ground.
- Feedback Network:** A capacitor C is connected between pins 5 and 6. A feedback network consisting of a $1\mu F$ capacitor and a $50K$ resistor (R_3) is connected between pins 3 and 11.
- Internal Blocks:**
 - VCO:** Variable Frequency Oscillator, connected to pins 1, 5, 6, and 8.
 - Mult. And Sine Shaper:** Connected to pins 4, 16, 15, 14, 13, and 11.
 - Current Switches:** Connected to pins 7, 8, 9, and 10.
 - Op-Amp Buffer:** Labeled $+1$, connected to pins 11 and 2.
- Outputs:**
 - FSK Output:** Taken from pin 2.
 - Other Pins:** Pins 13, 14, 15, and 16 are marked with an 'X' and connected to a common point through a 200 resistor.
- Formulas:**
 - $F1 = 1/R1C$
 - $F2 = 1/R2C$

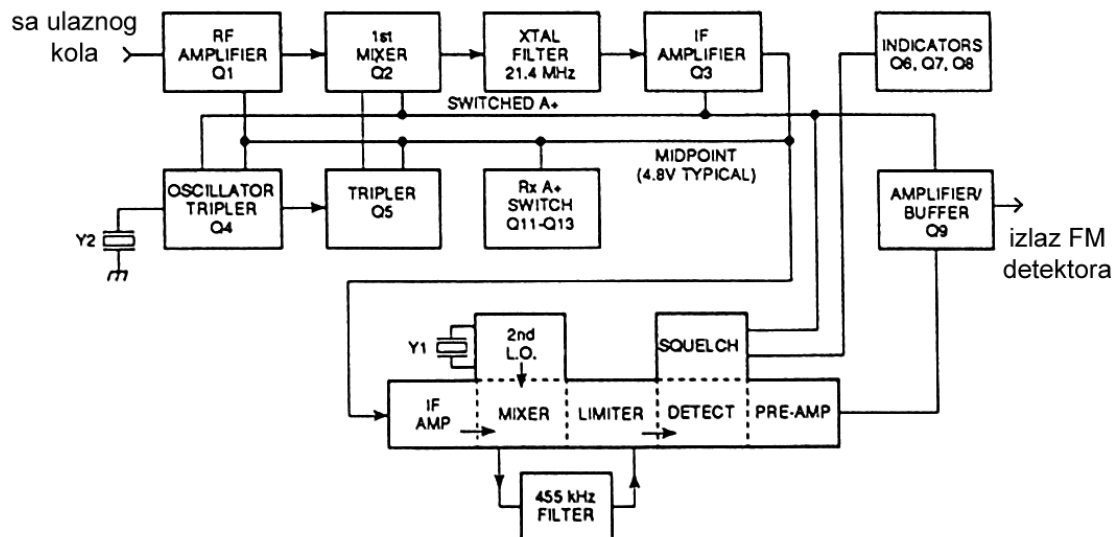
VCXO konfiguracija omogućava jednostavnu implementaciju uskopojasne FM modulacije uz istovremeno očuvanje visoke frekventne stabilnosti oscilatora. Stabilnost osnovne frekvencije ovakvog oscilatora je bliska stabilnosti standardnog kvarcnog oscilatora jer se dodatnim pasivnim komponentama faktor dobrote kristala kvarca umanjuje za približno 50%, tako da je on i dalje reda veličine 10^{-5} , što je vrlo visoka vrednost. Postignuta frekventna stabilnost RDL predajnika koji radi u okviru radio-modema RDS1200/1201 iznosi ± 5 ppm (tj. $\pm 5 \times 10^{-6}$). Predajnik radi na jednoj fiksnoj frekvenciji koju diktira upotrebljeni kristal kvarca.

5

Rad kompletnog predajnog modula se kontroliše od strane napojno-kontrolnog modula, tako da je predajnik zaustavljen tokom faze prijema podataka, kada je aktivan prijemnik. Treba napomenuti da je moguće tako hardverski konfigurisati RDS1200/1201 radio-modeme da rade kao digitalni repetitori u nekom određenom telekomunikacionom sistemu, kada su istovremeno aktivni i njihovi prijemnici i predajnici, naravno na različitim frekvencijama. Međutim, u slučaju sistema Miloš 200 prekidanje rada predajnika je neophodno jer se za oba smera prenosa podataka (od centralne do udaljenih stanica i obratno) koristi ista frekvencija (semi-dupleksna komunikacija).

1.2.3. Struktura RDL prijemnika

Kako bi se dostupnim snagama predajnikâ mogle pokriti što veće udaljenosti između telekomunikacionih tačaka, RDL prijemnici u radio-modemima RDS1200/1201 su načinjeni tako da istovremeno bude postignuta što veća osetljivost i što veća selektivnost u odnosu na susedne i udaljene radio-kanale. Analiziraćemo sada detaljno strukturu upotrebljenih RDL prijemnika, a pojedine detalje njihove konstrukcije ćemo uporediti sa nekim od mogućih rešenja koje nudi savremenija tehnologija.

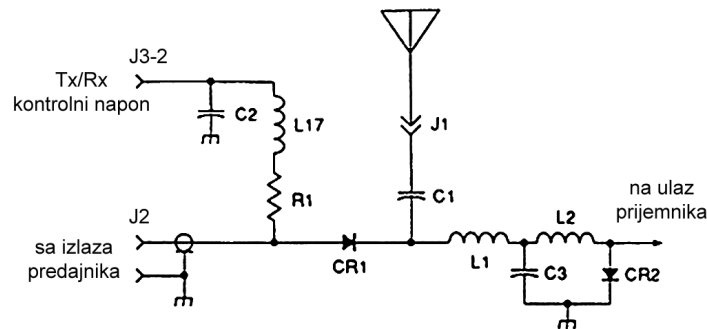


Slika 1.5 - Blok - šema RDL prijemnika

Kao što se sa prethodne slike može videti, prijemnici su koncipirani kao superheterodinski sa dve međufrekvencije (sa dvostrukom konverzijom). Frekvencija prvog lokalnog oscilatora se može precizno podesiti pre početka rada, kako bi iz celokupnog radio-spektra bio izdvojen jedan fiksni prijemni kanal između 450 i 475MHz, širine 25kHz. Konstrukcija prijemnika sa dve međufrekvencije omogućava da se na relativno jednostavan način istovremeno reše dva najvažnija problema: problem potiskivanja tzv. simetrične stanice i problem postizanja što veće selektivnosti po susdenim kanalima. Prva izabrana međufrekvencija je relativno visoka i u ovom slučaju iznosi 21.4MHz. Simetrični signali su, dakle, od prijemnog kanala udaljeni 42.8MHz i ulazna rezonantna kola podešena na prijemni kanal mogu snažno da ih priguše. Veliko potiskivanje eventualnih ometajućih signala iz susednih kanala se postiže tako što se za drugu međufrekvenciju bira relativno niska vrednost, koja u ovom slučaju iznosi standardnih 455kHz. Za nju postoje vrlo jeftini, ali ipak dovoljno selektivni keramički filtri.

Danas su razvijeni i drugi načini za potiskivanje signala simetrične stanice, koji su principijelno slični određenim metodima za generisanje SSB signala. Naime, kod njih se koristi razlika u relativnoj fazi međufrekventnih signala koji potiču od željene i simetrične stanice, tako da se određenim manipulacijama signal željene stanice pojačava, a signal simetrične stanice jako potiskuje. Ovaj metod se može efikasno realizovati isključivo u tehnologiji integriranih kola jer zahteva postojanje dva paralelna međufrekventna kanala kojima se delimično vode signali sa različitim fazama, pri čemu ovi MF kanali moraju da budu izrazito međusobno simetrični. Na njihovu simetriju ne sme da utiče promena ambijentalne temperature, starenje komponenata i sl.

Ulazno (antensko) kolo. Kako je RDS radio-modem po svojoj funkciji primopredajnik koji koristi jednu istu antenu za prijem i predaju, pred ulazno kolo se postavlja i zadatak razdvajanja puteva prijemnih i predajnih signala. Na narednoj slici je dat šematski prikaz konstrukcije ulaznog kola:



Slika 1.6 - Ulazno (antensko) kolo RDL primopredajnika

Kao elementi koji vrše komutaciju su upotrebljene PIN diode. Tok VF energije kroz ulazno kolo se kontroliše promenom njihove jednosmerne polarizacije. Pogledajmo šta se dešava u pojedinim režimima rada primopredajnika:

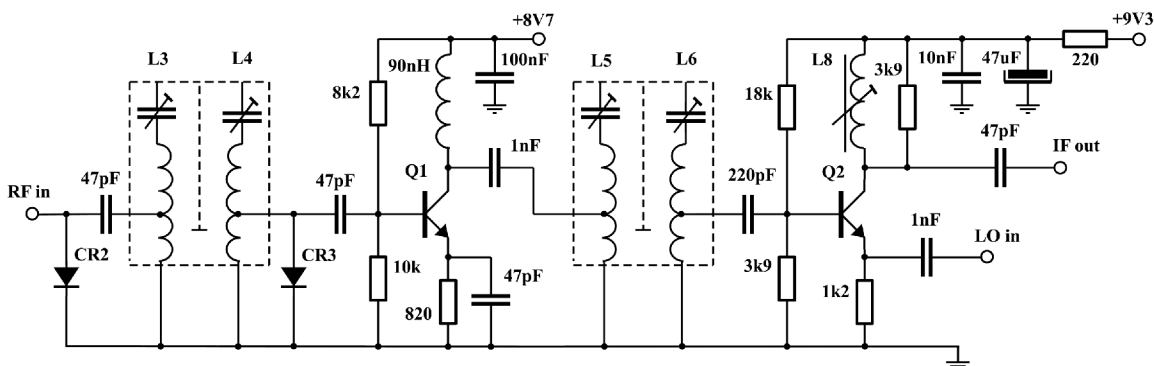
- 1) U režimu prijema signala, na kontaktu za kontrolu ulaznog kola (J2) jednosmerni napon je jednak nuli i obe PIN diode (CR1 i CR2) predstavljaju beskonačne impedanse. Tada nikakvi eventualni signali iz predajnika ne mogu da prodru do antene i ulaznog kola zbog redno postavljene CR1, niti prijemni signali mogu da mimoiđu ulazno kolo prijemnika. Istovremeno je ulaz prijemnika preko ulaznog kola koje formiraju L1, L2 i C3 neometano vezan za antenu.
- 2) U režimu predaje, na kontrolnom ulazu se pojavljuje jednosmerni kontrolni napon od +2V. Tada su obe PIN diode preko prigušnice L17 i otpornika R1 direktno polarisane tako da njihova dinamička impedansa iznosi približno 50Ω. Snažni signali sa izlaza predajnika bivaju neometano prosleđeni do antene koja ih zatim zrači u slobodni prostor. Ulazno kolo prijemnika (L1, L2 i C3) na radnoj frekvenciji predstavlja ekvivalentnu četvrt-talasnu ($\lambda/4$) sekciju voda karakteristične impedanse 50Ω, tako da se dinamička impedansa PIN diode CR2 sa njegovog izlaza (koja, dakle, takođe iznosi približno 50Ω) preslikava u beskonačnu impedansu na njegovom ulazu. Zbog toga signali iz predajnika ne mogu da uđu u ulazno kolo prijemnika i izazovu bilo kakve neželjene efekte, već se kompletna VF snaga vodi do antene.

Ovakvo i slična izvođenja ulaznih kola primopredajnika se danas gotovo isključivo koriste kod konstrukcija primopredajnika relativno male izlazne snage, do nekoliko vata (W). Prednosti u odnosu na mehaničke VF releje su: brže vreme preklapanja, manje dimenzije, veća pouzdanost u radu i neosetljivost na jake mehaničke šokove (padove). Svi savremeni mobilni primopredajnici, npr. mobilni telefoni, modemi za bežično povezivanje računara i sl. funkcionišu u okviru brzih i kompleksnih digitalnih telekomunikacionih sistema kod kojih se zahteva da se režimi prijema i predaje smenjuju i po nekoliko stotina puta svake sekunde, a osim toga moraju

da budu minijaturnih dimenzija i vrlo otporni na padove, tako da standardno koriste konfiguracije sa PIN diodama i drugim nemehaničkim komutatorima u svojim ulaznim kolima.

U primopredajnim uređajima čiji predajnik i prijemnik moraju da budu aktivni istovremeno (tj. koji rade u full-duplex režimu), umesto razdvajanja tokova signala kolima sa komutacionim elementima moraju da se koriste kola za razdvajanje ovih tokova po frekvencijama. Takva antenska kola su poznatija pod nazivom Diplexer (diplekser). Iako su do sada razvijena vrlo efikasna diplekterska kola, kod njih se ipak mora računati sa manjim slabljanjem “preslušavanja” između predajnog i prijemnog signala nego kod ovde opisanog i njemu sličnih “komutatorskih” kola, a takođe su diplekseri skuplji i manje pouzdani od njih. Zbog toga se u savremenim digitalnim mobilnim sistemima rad u full-duplex režimu gotovo nikada ne koristi, a o načinu na koji je on izbegnut u GSM sistemima će biti reči u odeljku 2.2.1.1.

Kako bi se što je moguće više smanjio sopstveni šum ulaznog kola prijemnika, kao prvi rezonantni filtri su upotrebljeni helikoidalni filtri (L3 i L4), podešeni na tačnu prijemnu frekvenciju. Njihov faktor dobrote je približno dva puta veći u odnosu na standardna LC rezonantna kola, tako da je pred-selektovani VF prijemni propusni opseg uži, i srazmerno tome i snaga spoljašnjeg šuma koji dolazi na ulaz prvog pojačavačkog stepena smanjena. Tipična vrednost sopstvenog faktora šuma (NF - Noise Figure) helikoidalnih rezonatora je reda veličine 0.1dB.



Slika 1.7 - Električna šema pretpojačavača i prvog mešača

Pretpojačavač. Kao što se sa prethodne slike vidi, pretpojačavač RDL prijemnika je izveden uz pomoć bipolarnog VF tranzistora koji radi kao pojačavač sa uzemljenim emitorom. Ova konfiguracija danas ne deluje kao naročito srećno rešenje, ali se moramo podsetiti da su osamdesetih godina XX veka visokofrekventni FET (kako silicijumski MOSFET, tako i GaAs JFET) tranzistori još uvek predstavljali priličnu novinu i nije bilo niti dovoljno praktičnog iskustva niti kvalitetnih računarskih programa za njihovu konstrukciju i simulaciju. Danas se kao prvi pojačavači po pravilu ne koriste bipolarni tranzistori, jer su tranzistori sa efektom polja superiorniji po pitanju svih najvažnijih zahteva kojima kvalitetan pretpojačavač mora da udovolji. Naime, FE tranzistori imaju značajno manji faktor šuma (NF – Noise Figure), linearnije pojačanje uz naročito malo harmonijskih i intermodulacionih produkata neparnog reda (određeni deo snage tih produkata se neizbežno projektuje unutar prijemnog propusnog opsega!), i samim tim i znatno veću toleranciju na jake ulazne signale, koja je važna u okruženjima koja obiluju jakim signalima čije su frekvencije bliske prijemnoj frekvenciji, kakav je upravo UHF opseg u blizini 470MHz. Savremeni UHF pretpojačavači koriste MOSFET i GaAs JFET tranzistore i projektuju se tako da se obezbedi njihova (po mogućnosti bezuslovna) stabilnost sve do frekvencija reda veličine desetak GHz, što znači da se koristi mikro-strip tehnika projektovanja štampanih ploča i SMD komponente.

Razlog zbog koga je prvom pojačavačkom stepenu u nizu (tj. pretpojačavaču) neophodno posvetiti izuzetnu pažnju leži u činjenici da njegov faktor šuma praktično određuje faktor šuma kompletnog prijemnika, što se jasno vidi iz naredne formule:

$$F_{uk} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 \cdot G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 \cdot G_2 \cdot G_3} + \dots, \quad F = 10^{\frac{F(dB)}{10}}, \quad G = 10^{\frac{G(dB)}{10}}. \quad [1.1]$$

gde su G_i pojačanja snage, F_i sopstveni faktori šuma pojedinih pojačavačkih stepena u nizu, a F_{uk} je ukupni faktor šuma celog pojačavača, u ovom slučaju – prijemnika (obratiti pažnju na to da se u pretnodnom izrazu ne koriste vrednosti sa F_i i G_i izražene u dB).

Kako bi se što više smanjila verovatnoća da usled jakih ulaznih signala dođe do zasićenja izlaza pretpojačavača ali i narednog stepena za obradu signala (najčešće je to prvi mešač), pojačanje prvog stepena (G_1) po pravilu nema veliku vrednost, već je ono tek toliko da minimalno očekivani ulazni signali budu dovedeni u dovoljnoj meri iznad praga šuma narednog pojačavačkog stepena, kako njegov sopstveni faktor šuma (F_2) ne bi mogao da dođe do izražaja i eventualno pokvari odnos signal-šum koji vlada na izlazu pretpojačavača. Na taj način je obezbeđeno da i najmanjim ulaznim signalima koji uopšte mogu da budu korektno primljeni (tj. koji su iznad praga šuma prvog pojačavačkog stepena) bude očuvan odnos signal-šum tokom kompletne dalje obrade u prijemnom lancu, a istovremeno je ostavljena maksimalno moguća “margina” za jake ulazne signale, koji neće tako lako dovesti prvi mešač u oblast nekontrolisanog nelinearnog rada, što bi dovelo do jake intermodulacije i moglo bi da potpuno onemogući prijem. Sve u svemu, ukoliko se sistemom za automatsku kontrolu pojačanja prijemnika (AGC – Automatic Gain Control) pojačanje pretpojačavača ne može po potrebi smanjivati, ono po pravilu nije veće od 20 puta (25dB).

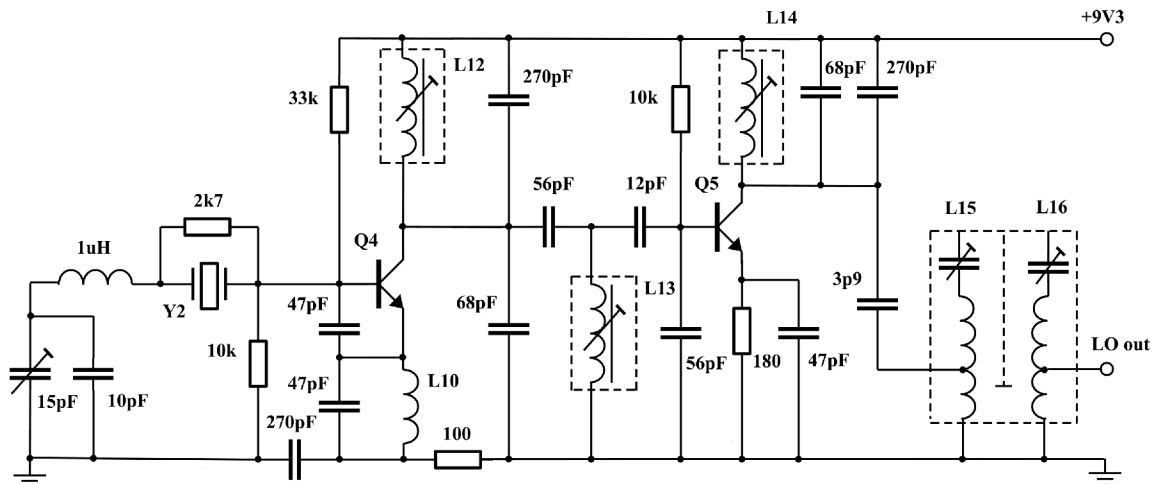
Prvi mešač. Kao što se sa slike 1.7. vidi, signali se sa izlaza pretpojačavača, zarad što većeg potiskivanja signala “simetrične stanice”, po drugi put filtriraju helikoidalnim filtrom na originalnoj prijemnoj frekvenciji i zatim vode na prvi mešač tj. tranzistor Q2. Mešanje prijemnog signala sa signalom prvog lokalnog oscilatora se, dakle, vrši u mešaču sa jednim bipolarnim tranzistorom promenom njegove transkonduktanse, što je danas takođe uveliko prevaziđeno rešenje. Najveće njegove mane su relativno velika inherentna nelinearnost nepovoljnog eksponencijalnog oblika koja lako dovodi do pojave neželjenih intermodulacionih produkata na izlazu mešača, mala vrednost maksimalno dozvoljene snage ulaznih signala iznad koje dolazi do neprihvatljivo jake intermodulacije, zatim relativno slaba kontrola toka energije, tako da signali iz mešača mogu da prodru do antene, i najzad relativno slaba temperaturna i vremenska stabilnost vrednosti njegovog pojačanja (pojačanje mešača se definiše kao odnos snage transponovanog signala na izlazu mešača i snage signala na originalnoj frekvenciji na njegovom ulazu). U savremenim prijemnicima se kao mešači (do frekvencija reda GHz) najčešće koriste Gilbert-ovi množači izvedeni u tehnici monolitnih integrisanih kola, ili stepeni sa MOSFET tranzistorima, ili čak Gilbert-ovi množači načinjeni od MOSFET tranzistora.

Zbog čega je važno da kod radio-prijemnika mešanje signalâ različitih frekvencija (što je ekvivalentno njihovom međusobnom množenju u vremenskom domenu) bude što idealnije? Naime, osim korisnog signala na izabranoj prijemnoj frekvenciji u radio-spektru postoji još čitavo mnoštvo signala koji su nešto bliže ili dalje od prijemne frekvencije, od kojih neki mogu da budu izuzetno jaki i uprkos velikom slabljenju ulaznog kola mogu da prodru do ulaza mešača. Cilj procesa mešanja prijemnog signala sa signalom lokalnog oscilatora je dobijanje takozvanog međufrekventnog (MF) signala, čija je frekvencija jednaka razlici (ili ponekad zbiru) ovih dveju učestanosti, tj. transponovanje spektra korisnog signala na neku drugu učestanost. Ukoliko se osim željenog MF signala u mešaču budu pojavljivali i neželjeni (npr. harmonijski) produkti mešanja, postoji realna opasnost da neki od jakih okolnih signala sa nekim od takvih štetnih produkata unutar samog mešača (procesom intermodulacije) stvore nove produkte čije će frekvencije biti unutar propusnog opsega međufrekventnog pojačavača. Ukoliko do toga dođe i

energija ovih neželjenih produkata, koji su dakle greškom generisani od strane prijemnika, prodru do ulaza međufrekventnog pojačavača - ne postoji više nikakav način za njihovo uklanjanje iz prijemnog signala i degradacija kvaliteta prijema je neizbežna. Ukoliko se setimo da je prenosna karakteristika bipolarnih tranzistora eksponencijalna, jasno je da množenjem dva signala unutar njih nastaje vrlo širok spektar raznih neželjenih učestanosti, a ne samo dve očekivane. Što su signali koji se mešaju snažniji, “nagomilavanje” štetnih produkata je izraženije, tako da je ponašanje ovakvih mešača u prisustvu jakih signala vrlo loše. Sa druge strane, FE tranzistori imaju paraboličnu prenosnu karakteristiku koja dovodi do stvaranja intermodulacionih produkata pre svega parnog reda, tako da su oni značajno malobrojniji, njihova snaga znatno sporije raste sa porastom ulaznih signala i kao posledica svega toga FET mešači su daleko manje podložni ovom specifičnom vidu “zagušenja intermodulacionim šumom”.

Obzirom na to da su FET tranzistori još uvek relativno skupe komponente, a današnja tehnika izrade integrisanih kola dozvoljava integrisanje velikog broja poluprovodničkih (bilo bipolarnih, bilo CMOS) komponenata po zanemarljivo niskoj ceni, na tržištu postoji čitavo mnoštvo namenskih integrisanih kola koja sadrže visoko korigovane Gilbert-ove množačke ćelije. Kod ovih ćelija su nedostaci bipolarnih tranzistora veoma dobro korigovani (integrisanjem velikog broja identičnih bipolarnih komponenata i njihovim pogodnim povezivanjem, tako da se neželjene nelinearnosti međusobno gotovo potpuno potiru), tako da su one u stanju da kvalitetno i efikasno obavljaju funkciju mešanja frekvencija.

Prvi lokalni oscilator. Prvi lokalni oscilator prijemnika je konstruisan kao VCXO, vrlo slično oscilatoru predajnika. Predviđenim trimmer-kondenzatorom je moguće u određenim granicama fino podešavati frekvenciju na kojoj on osciluje, a time i tačnu prijemnu frekvenciju. Osnovne oscilacije se zatim dva puta uzastopno utrostručavaju kako bi se dobio signal na frekvenciji od približno 490MHz, koji se najzad vodi na predviđeni ulaz prvog mešača.



Slika 1.8 – Prvi lokalni oscilator prijemnika i utrostručavač frekvencije

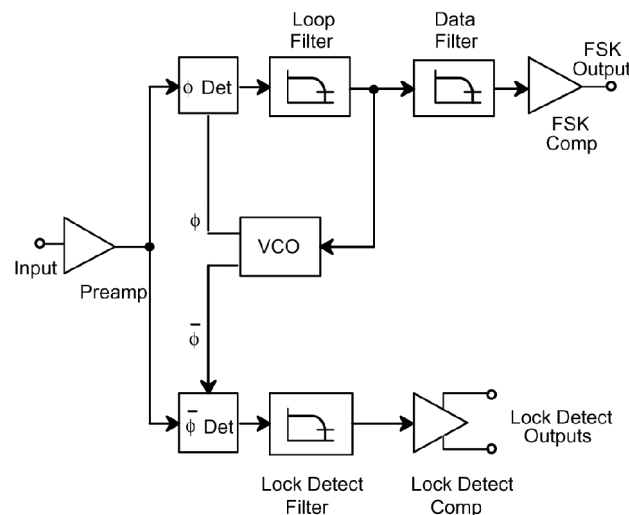
Nezavisni oscilatori predajnika i prijemnika dozvoljavaju prenos podataka na dva odvojena i međusobno potpuno nezavisna radio-kanala, što se može iskoristiti za premošćavanje većih udaljenosti repetitivskim načinom rada kada određeni broj modema istovremeno vrši prijem signala iz jednog kanala, njihovo pojačavanje i reemitovanje na drugom predviđenom kanalu. Kod meteorološkog sistema Miloš 200 su prijemna i predajna frekvencija međusobno jednake i svi upotrebljeni radio-modemi rade u semi-duplex režimu. Možemo primetiti da uzajamno slična konstrukcija oscilatorâ u prijemniku i predajniku dovodi do toga da njihovi odzivi na starenje kristala (i ostalih komponenata) ili temperaturne i druge promene uslova okruženja budu slični

tako da, ako vremenom eventualno i dođe do izvesnih promena prijemne i predajne frekvencije, one će najverovatnije biti istog smera i slične po amplitudi, što znači da funkcija sistema u celini može da bude očuvana nešto duže bez intervencije stručnog osoblja (tj. periodične kalibracije uređaja podešavanjem trimer-komponenta).

Međufrekventni pojačavač, druga translacija učestanosti i FM detektor. Signal sa kolektora tranzistora Q2, koji je transponovan na prvu međufrekvenciju od 21.4MHz, se dalje filtrira uz pomoć tri dvopolna kristalna filtra (FL1, 2 i 3) i vodi na prvi međufrekventni (MF) pojačavač, formiran oko tranzistora Q3 (videti sl. 1.5). Ovako selektovan i pojačan MF signal se dalje vodi na ulaz (PIN16) integrisanog kola U1 u kome je objedinjeno više funkcija. Naime, u njemu postoje: drugi lokalni oscilator koji je stabilisan posebnim spoljašnjim kristalom kvarca (20.945MHz), drugi mešač (sa Gilbert-ovom množačkom ćelijom), drugi MF pojačavač sa spoljašnjim keramičkim filtrom (455kHz), limiter i diskriminatorski FM detektor. Osim ovih osnovnih, integrisani su i kontrolni sklopovi koji upravljaju radom prijemnika u celini, u zavisnosti od prisustva i kvaliteta (nivoa) prijemnog signala, tzv. Muting i Squelch sklopovi. Kako se slična integrisana kola široko koriste u radiodifuznim i profesionalnim analognim FM prijemnicima, jasno je da se do ovog trenutka prijemni signali obrađuju kao i bilo koji drugi uskopojasni analogni FM (NBFM – Narrow Band Frequency Modulated) signali.

U skladu sa poslednjom tvrdnjom, može se primetiti sledeće: ukupna osetljivost ovog digitalnog radio-prijemnika zavisi i od osetljivosti analognog i od osetljivosti njegovog digitalnog podsistema. Naime, neophodno je da najpre analogni podsistem (FM prijemnik) bude u stanju da uspešno detektuje VF FM signal i formira analogni NF signal sa određenim minimalno potrebnim odnosom signal-šum, kako bi digitalni podsistem (FSK demodulator) uopšte mogao da “pokuša” da dekodira takav signal (koji se nalazi u osnovnom opsegu) u niz binarnih vrednosti. Dakle, ukoliko bi umesto jednostavnog FM diskriminatora bio upotrebljen neki osetljiviji FM detektor, npr. PLL FM demodulator, osetljivost prijemnika u celini bi bila povećana. Danas na tržištu postoji širok izbor PLL FM detektora, koji se prvenstveno koriste za prijem satelitskih TV signala. Njihova ukupna harmonijska izobličenja (THD – Total Harmonic Distortion) su nešto veća u odnosu na klasične analogne FM detektore (iznose npr. 3%), ali to u ovom slučaju ne bi predstavljalo nikakav problem jer je reč o prijemu digitalnih signala.

Kod RDS1200/1201 primopredajnika razlika u obradi prijemnog signala u odnosu na analogne FM prijemnike nastupa tek po njegovom dovođenju (u obliku NF signala koji nosi FSK informaciju) na ulaz integrisanog kola U2 (XR2211) na napojno-upravljačkom modulu. Ovo integrisano kolo je namenski FSK PLL demodulator proizvođača Exar a njegova blok-šema je prikazana na narednoj slici:



Slika 1.9 - Blok-šema integrisanog FSK demodulatora XR2211

Ovo integrisano kolo predstavlja u stvari jednu preciznu i stabilnu analognu PLL petlju sa VCO oscilatorom koji se kontroliše “strujnim pumpama”, i kada se koristi za demodulaciju FSK signala konfiguriše se tako da centralna frekvencija PLL-a bude jednaka geometrijskoj sredini više i niže modulacione frekvencije (f_1 i f_2). Naime, FSK modulisani signal se može predstaviti i na sledeći način:

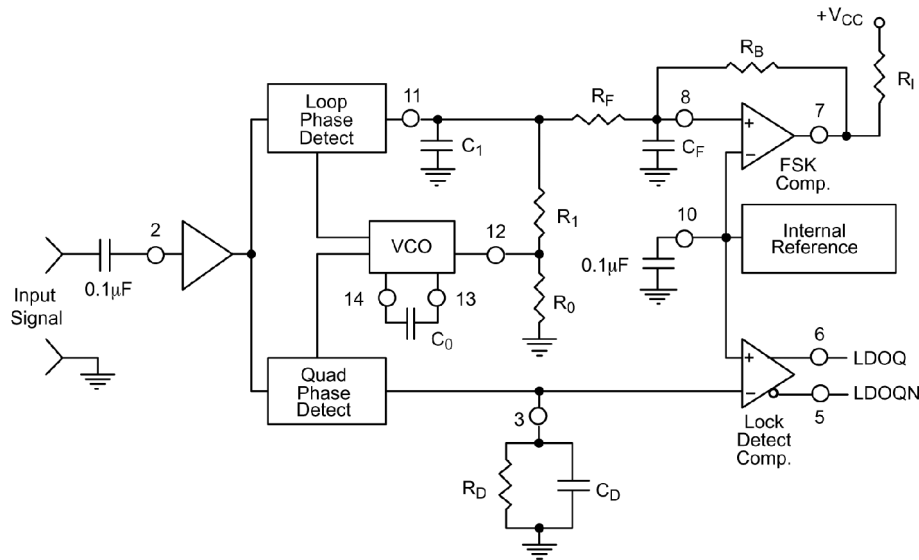
$$f_{FSK} = f_0 \pm f_m \quad [1.2]$$

gde je f_0 centralna (noseća) frekvencija, a f_m modulaciona frekvencija. Tada je:

$$f_1 = f_0 + f_m \quad \text{ i } \quad f_2 = f_0 - f_m \quad [1.3]$$

Ukoliko je na ulazu integrisanog kola (pin_2) prisutan FSK signal, PLL petlja će pratiti njegovu frekvenciju i trenutni fazni stav, a kao nosilac informacije kojom se kontroliše interni VCO oscilator će egzistirati jednosmerni kontrolni napon koji je u svakom trenutku ili viši ili niži od neutralnog referentnog nivoa (koji korespondira “srednjoj” frekvenciji f_0), jer FSK signal može imati samo jednu od dve moguće frekvencije: $f_1 > f_0$ ili $f_2 < f_0$. Unutar integrisanog kola postoji komparator sa histerezisom na čiji se ulaz dovodi ovaj jednosmerni kontrolni napon, tako da se na njegovom izlazu pojavljuju diskretizovane vrednosti (TTL kompatibilne digitalne 0 i 1). To je, dakle, izlaz FSK dekodera (pin_7). Osim njega, postoji i par komplementarnih izlaza (pin_5 i pin_6) koji indiciraju prisustvo validnog FSK signala na ulazu, tako što menjaju svoja diskretna stanja u zavisnosti od toga da li je PLL petlja zaključana ili nije. Ulazni FSK signal se proglašava validnim ukoliko se PLL petlja nalazi u “zaključanom” stanju, tj. aktivno prati fazni stav signala na ulazu.

Kao ilustracija jednostavnosti postupka dizajniranja FSK dekodera kada se koristi integrisano kolo XR2211, ovde će biti prikazane preporučene jednačine za proračun vrednosti svih potrebnih pasivnih elemenata. Sve vrednosti treba izraziti u osnovnim jedinicama (Ω , F, Hz), a oznake komponenta se odnose na sliku 1.10.



Slika 1.10 – Osnovna aplikaciona šema FSK demodulatora XR2211

Proračun pasivnih komponenata FSK demodulatora:

- 1) Najpre treba odrediti centralnu frekvenciju PLL oscilatora f_0 kao:

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2} \quad [1.4]$$

- 2) Zatim treba izabrati vrednost otpornosti R_0 , $10k\Omega < R_0 < 100k\Omega$, najbolje $20k\Omega$.
Nju treba načiniti od fiksnog otpornika R_{01} i trimmer-potencijometra R_{02} :

$$R_0 = R_{01} + \frac{R_{02}}{2} \quad [1.5]$$

- 3) Odrediti vrednost kondenzatora C_0 kao:

$$C_0 = \frac{1}{R_0 \cdot f_0} \quad [1.6]$$

- 4) Odrediti vrednost otpornika R_1 na osnovu zahtevane širine “opsega hvatanja” PLL petlje na osnovu izraza:

$$R_1 = 2 \cdot \frac{R_0 \cdot f_0}{f_1 - f_2} \quad [1.7]$$

- 5) Odrediti vrednost kondenzatora C_1 na osnovu izraza:

$$C_1 = \frac{1250 \cdot C_0}{R_1 \cdot \zeta^2} \quad [1.8]$$

pri čemu treba uzeti $\zeta = 0.5$.

- 6) Potrebno je da na ulazu XR2211 (pin_2) amplituda FSK napona bude najmanje 10mV da bi dekodiranje moglo da bude uspešno, s tim da se tolerišu i veliki ulazni signali sve do $3V_{pp}$. Ukoliko se primeti prevelika osetljivost dekodera na šum u ulaznom FSK signalu, moguće je izvršiti desenzitizaciju ulaza integrisanog kola priključivanjem odgovarajućeg otpornika između pin_2 i mase, pri čemu se vrednost ove otpornosti izračunava izrazom:

$$R_x = 20k\Omega \cdot \left(\frac{V_{REF}}{\Delta V} - 1 \right), \quad V_{REF} = \frac{V_{CC}}{2} - 0.65V \quad [1.9]$$

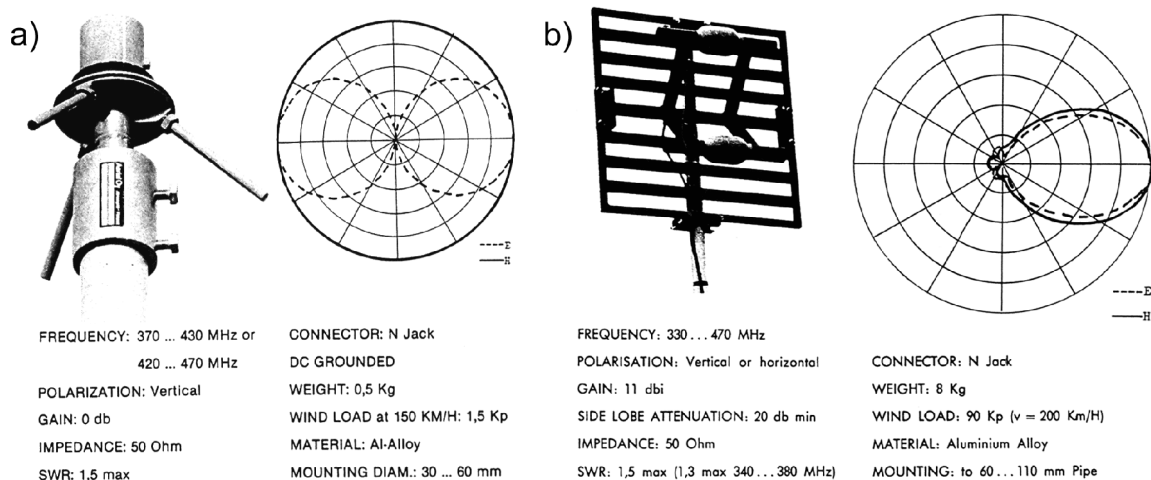
gde je ΔV razlika između željenog minimalnog praga osetljivosti i 10mV.

Kontrolni naponi sa pin_5 i pin_6 se koriste za aktiviranje prenosa podataka do računara putem za to predviđenih kontrolnih linija (CTS i DSR) u okviru RS-232 porta, a dekodirani digitalni podaci sa pin_7 se prosleđuju računaru linijom za slanje (RxD) bez kašnjenja.

Opisana konstrukcija prijemnika zahteva ulazni VF napon od najmanje $1\mu V$ (0dB μV) za prijem sa zahtevanom verovatnoćom greške γ manjom od 10^{-3} .

1.2.4. Preporučene antene

Kao što je već rečeno u uvodnom delu ovog poglavlja, sistem Miloš 200 je zamišljen kao sistem sa jednim centralnim nadzorno-upravljačkim i tri udaljena komunikaciona čvora. Pri tom su udaljeni čvorovi u odnosu na centralni pozicirani pod vrlo različitim uglovima azimuta, a komunikacija se u određenom trenutku obavlja isključivo između centralnog čvora i jednog od udaljenih čvorova (tj. ne postoji međusobna komunikacija između udaljenih čvorova). Zbog toga je kao pogodna antena za centralni čvor preporučena neusmerena Ground_Plane antena čiji je dijagram zračenja u horizontalnoj ravni približno kružan, tj. ne zavisi od ugla azimuta. Kako je sa aspekta pojedinih udaljenih čvorova potrebno ostvarivati vezu isključivo sa centralnim čvorom, za njih su preporučene usmerene antene, sa nominalnim pojačanjem u odnosu na standardni polutalasni dipol u maksimumu dijagrama zračenja od 11dB. Pri tome treba voditi računa o poklapanju tipa polarizacije između neusmerene i usmerenih antena.



Slika 1.10 - Preporučene antene za sistem Miloš 200

a) neusmerena Ground-plane antena i b) usmerene Yagi antene udaljenih mernih stanica

1.3. Problemi koji su primećeni u radu

Kada se razmatra da li je neki sistem za digitalni prenos podataka zadovoljio zahtevane specifikacije, potrebno je da se ispita u kojoj meri je on omogućio prenos zahtevanog obima saobraćaja sa zahtevanom minimalnom verovatnoćom greške γ .

U slučaju istraživačkog meteorološkog sistema Miloš 200, prvi rezultati nisu bili jednaki očekivanjima. Naime, nakon instaliranja automatskih mernih stanica i puštanja celog sistema u rad ispostavilo se da komunikacija sa čak dve od tri udaljene stanice nije dobra. Nakon što je zatražena i izvršena ekspertiza od strane tima sa Elektronskog fakulteta u Nišu, došlo se do zaključka da osnovni uzrok loše komunikacije leži prvenstveno u lošem pozicioniranju antene centralne primopredajne jedinice, koja je bila postavljena u urbanoj sredini na vrlo maloj relativnoj visini od tla. Ova greška je uskoro otklonjena i još jedna udaljena merna stanica je potom uspešno "povezana" u sistem.

Na žalost, zaključeno je da je geografski položaj preostale (treće) udaljene merne stanice jako loše izabran, jer se i ona i centralna jedinica sistema nalaze na relativno maloj nadmorskoj visini, dok se između njih prostire veliko uzvišenje. Kao što je poznato, UHF radio-talasi nisu u stanju da efikasno obilaze velike prepreke, tako da za ovaj problem nije nađeno ekonomično rešenje ostvarljivo u praksi. Po svemu sudeći, eventualno povećanje snage predajnikâ centralnog i udaljenog radio-modema ne bi moglo da garantuje pouzdanu i kvalitetnu komunikaciju u svim očekivanim meteorološkim uslovima a iziskivalo bi srazmerno velika dodatna ulaganja, tako da se od toga odustalo. Jednostavnije rešenje bi mogla da bude zamena postojeće usmerene antene na toj udaljenoj stanici nekom antenom sa većim pojačanjem (tj. usmerenošću), što bi za posledicu imalo istovremeno povećanje nivoa prijemnog signala na udaljenoj mernoj stanici i povećanje isporučene snage na mestu centralne stanice. Ipak, ovo ne bi otklonilo osnovni uzrok slabog kvaliteta veze koji leži u lošim uslovima prostiranja signala duž zadate trase sa jako nepovoljnom konfiguracijom reljefa.

1.4. Zaključak prvog poglavlja

Kao jedan opšti zaključak bi se moglo reći da su ovakvi rani sistemi za prenos digitalnih podataka često patili od izvesnih, ponekad izraženih nedostataka jer nisu u punoj meri koristili sve prednosti koje digitalni prenos pruža u odnosu na analogni. Naime, projektanti su se tokom njihovog osmišljavanja oslanjali na određene tehnologije i metode projektovanja koje su usavršene tokom ere analognih komunikacija, a koje nisu sasvim pogodne za digitalni prenos. Na primeru sistema Miloš 200 je, dakle, pokazano da ukoliko se želi formiranje zaista efikasnog digitalnog telekomunikacionog sistema, moraju se uzeti u obzir savremena idejna i tehnološka rešenja, kao što su:

- smanjivanje prosečnih međusobnih udaljenosti između komunikacionih čvorova, kako bi se obezbedile komunikacione trase sa što manje teško predvidivih slabljenja, refleksija i šumova
- uvođenje određene prostorne redundanse u sistem u smislu broja raspoloživih komunikacionih pravaca, kako bi se podaci u slučaju otkaza primarnog puta između dva proizvoljna krajnja čvora mogli prenesti alternativnim trasama - ovo se najčešće čini tako što se omogući međusobna komunikacija između što više čvorova
- uvođenje određene vremenske redundanse u sistem, kako bi podaci u slučaju trenutne blokade komunikacije mogli da budu preneti kasnije
- upotreba efikasnijih postupaka digitalne modulacije i zaštitnog i kanalnog kodovanja, kako bi u okviru raspoloživog frekventnog opsega i dostupnim snagama predajnika bila omogućena što pouzdanija i brža komunikacija, itd.

Već je na osnovu ovih zahteva jasno da se savremeni telekomunikacioni sistemi odlikuju neuporedivo većom složenošću u odnosu na prethodne generacije. Takođe se može naslutiti da, ukoliko su pravilno osmišljeni, njihove mogućnosti će najverovatnije biti znatno veće od minimalno zahtevanih, kako po pitanju spektra usluga koje bi mogli da podrže, tako i po pitanju garantovanog kvaliteta istih. Zbog toga se savremeni telekomunikacioni sistemi uvek projektuju kao višenamenski i osim što moraju da podrže veliki broj već postojećih, od njih se očekuje da budu u stanju da omoguće i određeni broj budućih novih telekomunikacionih servisa, s tim da smisao tih novih servisa čak i ne mora da bude poznat tokom faze projektovanja sistema. Dobar primer koji potvrđuje prethodnu tvrdnju jeste SMS servis u mobilnim GSM mrežama čija je funkcija u početku bila isključivo vezana za razmenu kratkih tekstualnih poruka između privatnih korisnika, a naknadno je putem njega omogućena i elektronska trgovina, vršenje finansijskih transakcija, elektronsko glasanje itd.

Kako bi projektovanje ovako kompleksnih sistema uopšte bilo moguće, i kako bi se za buduće sisteme obezbedilo adekvatno tržište, primenjuje se detaljna standardizacija svih njihovih specifikacija na globalnom svetskom nivou, najčešće od strane posebnih međunarodnih komisija formiranih od strane organizacije Ujedinjenih Nacija ili od strane naročitih nezavisnih interesnih grupa koje u sebe uključuju najznačajnije svetske proizvođače telekomunikacione opreme.

U narednom poglavlju ćemo detaljno sagledati karakteristike nekoliko savremenih sistema za digitalni prenos podataka, a zatim ćemo u trećem poglavlju pokušati da damo odgovor na pitanje: kako bi budućí meteorološki i drugi telemetrijski servisi mogli na efikasan i ekonomičan način da budu uključeni u ove sisteme?

2. Savremeni digitalni telekomunikacioni sistemi

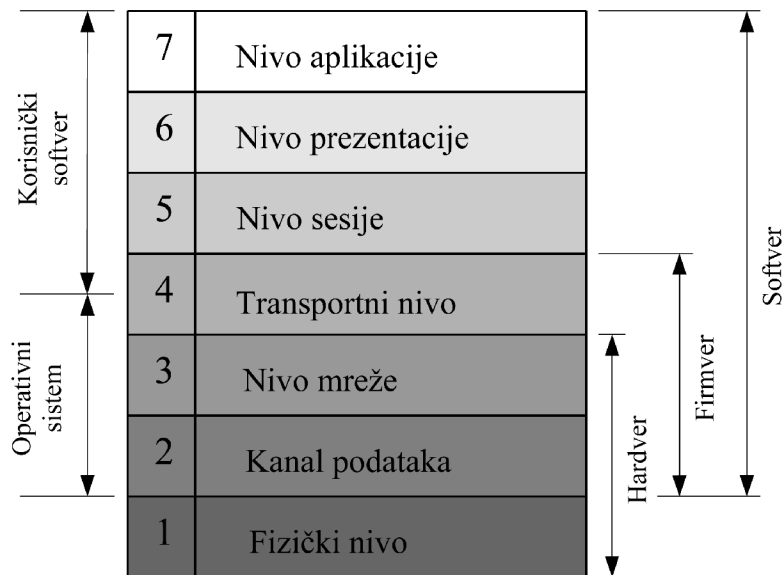
2.1. OSI referentni model sistema i Internet protokoli

Pre nego što budu navedeni bilo kakvi podaci vezani sa savremene telekomunikacione sisteme za digitalni prenos podataka, biće najpre objašnjena klasifikaciona šema koja omogućava da kompleksne funkcije koje ovi sistemi obavljaju budu pravilno shvaćene. Reč je o tzv. OSI (Open Systems Interconnection – povezivanje otvorenih sistema) modelu komunikacije u kome se proces prenosa digitalnih podataka sagledava kroz sedam hijerarhijskih nivoa.

Zatim će biti pojašnjen način na koji su ovi nivoi implementirani u Internet – globalnu svetsku javno dostupnu mrežu za paketni prenos podataka, koja je postala prirodno okruženje u kome su međusobno povezane sve savremene digitalne telekomunikacione mreže.

2.1.1. OSI - Sedam nivoa komunikacije

Posmatrano kroz referentnu OSI klasifikacionu šemu, bilo kakva korisnička informacija koju treba preneti kroz proizvoljni digitalni telekomunikacioni sistem mora da prođe kroz sedam hijerarhijskih nivoa sistemskog opsluživanja. Smisao uvođenja hijerarhijske organizacije jeste jasno razlučivanje pojedinih funkcija sistema i precizno definisanje strukture i pozicije podsistema (u okviru sistema u celini) koji date funkcije obavljaju. Detaljno ćemo, počev od najnižeg nivoa, analizirati OSI komunikacioni model koji je grafički predstavljen narednim dijagramom:



Slika 2.1 - OSI referentni mrežni nivoi

Fizički nivo. Pod fizičkim nivoom sistema se podrazumeva specifikiranje vrste i svih radnih karakteristika prenosnog medijuma putem koga će se vršiti prenos informacija duž neke pojedinačne trase (npr. da li se koristi radio-prenos, žičani vodovi, svetlo vodi...) i tip konektora (fizičkih priključaka) koji će se koristiti. Na ovom nivou se definišu karakteristične impedanse vodova, fizičke osobine simbola kojima će se predstavljati digitalne informacije, ukupna brzina prenosa podataka koja će biti omogućena konkretnom trasom, broj nezavisnih tokova podataka koji će eventualno moći da budu multipleksirani i zajedno prenošeni kroz dati prenosni put i sl. Ne razmatra se smisao prenošenih podataka, topološka struktura mreže, niti vremenska organizacija prenosa podataka kroz kanal. Dakle, svaki pojedinačni prenosni put koji treba da bude uključen u buduću mrežu mora da bude najpre specifikiran na čisto fizičkom nivou.

Poštovanjem fizičkih specifikacija je omogućen fizički pristup određenom komunikacionom putu. Ovo je jedini nivo sistema koji se razmatra i realizuje na isključivo hardverski način. Neki od procesa sa viših nivoa (tj. njihove funkcije) mogu biti realizovani hardverski, softverski ili kombinovano, dok se oni najviši realizuju isključivo softverski.

Nivo kanala podataka (data link). Ovaj nivo definiše način povezivanja jedne čvorne lokacije sa drugom u cilju predaje i prijema informacija, za svaki pojedinačni komunikacioni put. Razmatra se struktuiranje podataka i način kontrole njihovih tokova (signalizacija). Na ovom nivou se npr. definiše izgled tzv. sinhronizacionih ramova, vrste zaštitnog i kanalnog kodovanja koje će se koristiti, kao i način promene smera komunikacije kroz prenosni kanal ukoliko se koristi semi-dupleksni prenos.

Nivo mreže. Na ovom nivou se razmatra prenos paketa podataka. Poznata je topološka struktura mreže i na osnovu nje se određuje kojim prenosnim kanalima će se ostvariti prenos paketa podataka između dva krajnja komunikaciona čvora koja zahtevaju uspostavljanje međusobne komunikacije. Jedan paket podataka može da sadrži više manjih blokova podataka koji se razmenjuju između dva krajnja čvora, ili može da sadrži određeni deo nekog uređene strukture podataka koja se prenosi. Struktura paketa je precizno definisana i uvek se sastoji iz tzv. zaglavlja i informacionog bloka, a njihova veličina može da varira ili da bude konstantna.

U savremenim mrežama se po pravilu istovremeno koristi više puteva za prenos paketa podataka između dva krajnja čvora kako bi se komunikacija ubrzala i istovremeno povećao nivo njene sigurnosti i bezbednosti. Naime, na ovom nivou se obavljaju tzv. funkcije rutiranja paketa, koje se izvršavaju od strane sistemskih hardversko-softverskih čvornih uređaja, tzv. "ruterâ". Niko u principu ne zna kojim konkretnim putevima će određeni paketi podataka biti od strane ruterâ prosleđivani kroz mrežu od jednog do drugog komunikacionog čvora, tako da je bezbednost komunikacije u smislu onemogućavanja "prisluškivanja" od strane neovlašćenih lica povećana. Sigurnost komunikacije je takođe visoka jer u slučaju prekida određenog komunikacionog puta na raspolaganju uvek stoji nekoliko (veliki broj) alternativnih.

Transportni (prenosni) nivo. Na prenosnom nivou je poznata tačna količina stvarnih podataka koji se razmenjuju između svaka dva krajnja komunikaciona čvora (uređaja, tj. računara). Ukoliko se na istom krajnjem računaru izvršava više nezavisnih procesa, transportni sloj obezbeđuje uspostavljanje više nezavisnih virtuelnih transportnih kanala, koji mogu biti usmereni ka više nezavisnih krajnjih čvorova. Na ovom nivou se po potrebi može vršiti multipleksiranje više nezavisnih poruka u jedan odlazni priključak (eng. "port", pojam "priključka" ovde ne treba shvatati u hardverskom smislu), kao i demultipleksiranje nezavisnih poruka iz jednog dolaznog priključka do odgovarajućih procesa kojima su upućene.

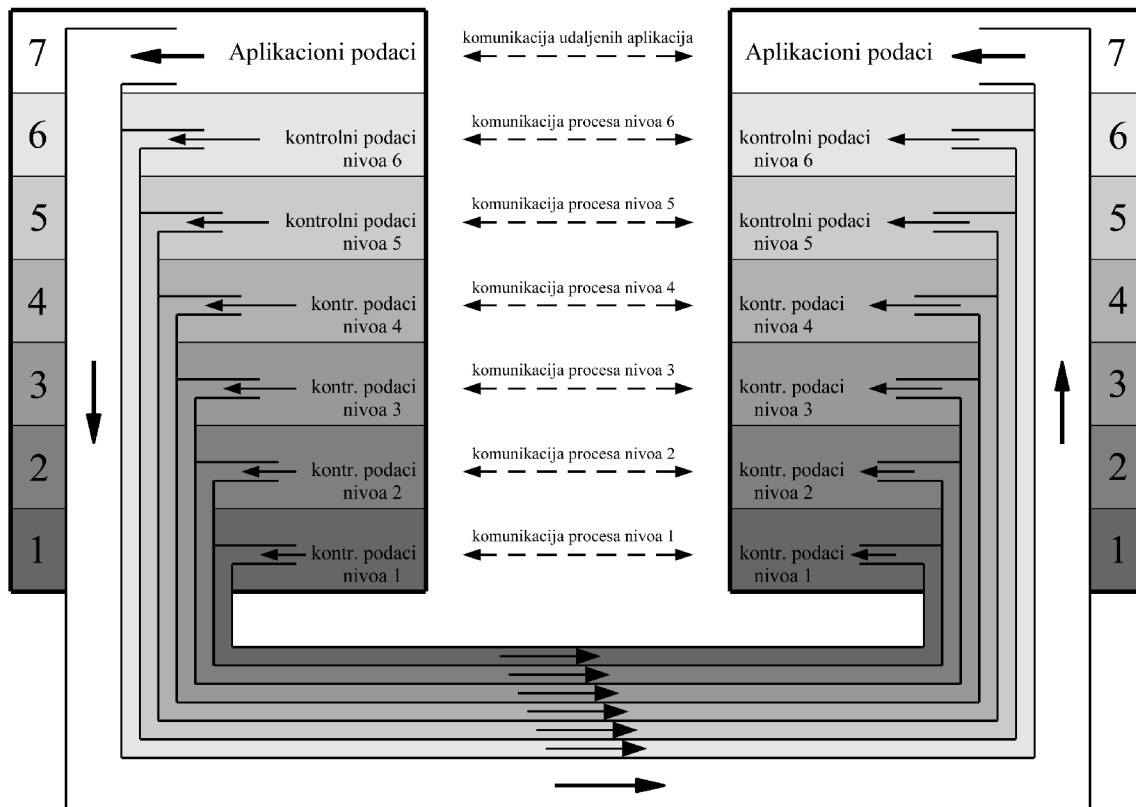
Nivo sesije. Na ovom nivou se vrši uspostavljanje, održavanje i raskidanje virtuelne veze između krajnjih korisničkih procesa (aplikacija) koji međusobno razmenjuju podatke. Na osnovu postavljenih zahteva sa nivoa sesije se na transportnom nivou vrši upravljanje prenosom podataka kroz odlazne i dolazne priključke.

Nivo prezentacije (predstavljanja podataka). U ovaj nivo komunikacije su uključeni delovi korisničkih aplikacija koji omogućavaju efikasan i pouzdan prenos izvornih podataka. To su npr. softverski moduli koji vrše kompresiju izvornih podataka, njihovu konverziju iz jednog oblika u drugi ili kriptovanje.

Aplikacioni nivo. Ovaj nivo čine stvarni korisnički procesi (tj. delovi aplikacionih programa) koji komuniciraju sa odgovarajućim procesima na računaru udaljenog korisnika. Krajnji korisnici, dakle, pokretanjem određenih aplikacija na svojim računarima i aktiviranjem nekih njihovih funkcija iniciraju čitav proces prenosa podataka. Oni po pravilu "ne vide" i ne moraju da poznaju nikakve detalje koji su vezani za niže nivoe komunikacionog procesa od aplikacionog.

Dakle, korisničke informacije započinju svoj put kroz prenosnu mrežu na taj način što ih aplikativni programi kodiraju u vidu niza bitova koji formalno čini deo neke veće organizovane strukture podataka ili je sam po sebi celovita struktura (fajl). Takav niz bitova se zatim u okviru predajnog mrežnog čvora prosleđuje procesima koji su na hijerarhijski sve nižim sistemskim nivoima, pri čemu se na svakom sledećem koraku izvornoj strukturi podataka dodaju i određene kontrolne informacije koje će omogućiti da na mestu prijema ona bude u celini korektno rekonstruisana. Ni jedan proces sa nekog hijerarhijski nižeg sistemskog nivoa pri tom ne analizira smisao podataka koje je dobio od procesa sa višeg nivoa. Zadatak procesa sa nivoa L u predajnom mrežnom čvoru jeste da prenese organizovanu strukturu podataka koju je dobio od nekog predajnog procesa sa višeg nivoa ($L + 1$) do predajnog procesa na nižem nivou ($L - 1$), pri čemu o svim eventualnim transformacijama koje preduzima nad dobijenom strukturom podataka mora da napravi preciznu belešku. Ta beleška će korespondirajućem prijemnom procesu sa nivoa L u prijemnom čvoru omogućiti da pravilno rekonstruiše celu organizovanu strukturu podataka i prosledi je prijemnom procesu na hijerarhijski višem nivou ($L + 1$). Na taj način su svi niži sistemski nivoi opsluživanja transparentni ("providni") za sve procese sa hijerarhijski viših nivoa. Određeni proces sa nivoa L u predajnom mrežnom čvoru komunicira isključivo sa odgovarajućim procesom sa svog hijerarhijskog nivoa L u prijemnom mrežnom čvoru. Kontrolne informacije koje služe za međusobnu komunikaciju između procesa sa istog hijerarhijskog nivoa se označavaju terminom "zaglavlje" (Header).

Naredna slika grafički ilustruje tokove korisničkih i sistemskih podataka kroz hijerarhijski ustrojene prenosne sisteme.



Slika 2.2 - Tokovi podataka u hijerarhijski organizovanim prenosnim sistemima

U praksi se ponekad delimično odstupa od hijerarhijske podele koja je ovde izložena na taj način što se određene funkcije obrade podataka pridružuju procesima na hijerarhijskim nivoima kojima prirodno ne pripadaju (tj. neposredno višem ili nižem nivou), ali je redosled koraka obrade u svim sistemima u principu isti. Drugačija podela funkcija po nivoima može da pojednostavi rad izvesnih prenosnih sistema i to je jedini razlog zbog koga u nekom telekomunikacionom standardu može da se zahteva malo odstupanje od referentnog OSI modela (npr. videti odeljak 2.1.2).

Potrebno je obratiti pažnju na nekoliko važnih detalja:

Pre svega, treba primetiti da je tzv. Nivo mreže sastavni deo svake komunikacione mreže koja je projektovan u skladu sa izloženim modelom. To praktično znači da sve savremene digitalne mreže za prenos podataka rade u režimu prenosa i komutacije paketa. Ovo rešenje se tokom određenog dužeg niza godina, tokom kojih su vršeni prvi koraci na polju prevođenja velikih telekomunikacionih sistema sa analognog u digitalni domen rada, iskristalisalo kao jedino zaista ekonomično. Smatra se da će i sve buduće digitalne mreže prenositi pakete podataka.

Zatim treba primetiti da se pod pojmom “korisnik” ne podrazumeva nužno ljudsko biće, već to mogu biti i automatski aplikacioni programi koji se izvršavaju na nekom udaljenom računaru (npr. mernoj stanici) i u stanju su da iniciraju prenos podataka ili odgovaraju na spoljašnje zahteve za komunikacijom.

Sa druge strane, pod pojmom “računar” ne treba nužno zamišljati personalni ili neki drugi klasični računar. Danas je, naime, u gotovo sve iole komplikovanije uređaje ugrađena neka vrsta mikroprocesora, kako bi im se dodatkom određene količine “inteligencije” poboljšale radne karakteristike. Broj i vrste ovakvih “pametnih” uređaja na tržištu rastu neverovatnom brzinom, a istovremeno su njihove mogućnosti sve veće. Sada treba primetiti jednu vrlo interesantnu činjenicu: čim neki uređaj postane “pametan”, on poželi i da komunicira sa svojim okruženjem! Iako je za neke takve uređaje to bilo očekivano (npr. svi mobilni telefoni po prirodi služe za komuniciranje), za druge to uopšte nije bio slučaj. Tako je retko ko pretpostavljao da će uređaji poput klima-uređaja ikada imati bilo kakve potrebe po pitanju mrežnih komunikacija... Što je neki uređaj “inteligentniji”, njegove su potrebe za komuniciranjem izraženije. Već danas ova “poplava brbljive veštačke inteligencije” počinje da predstavlja specifičan problem, ali je istovremeno jasno da će upravo to biti jedna od osnovnih pokretačkih sila koje će diktirati osobine budućih velikih telekomunikacionih sistema.

U vezi sa osnovnom temom ovog rada, može se zaključiti da je opisano kretanje na polju savremenih telekomunikacija vrlo povoljno kada se posmatra sa stanovišta formiranja velikih mernih sistema. Jer, automatska telemetrijska (meteorološka ili bilo koja druga) stanica se odlično uklapa u definiciju uređaja sa “veštačkom inteligencijom” koji ima potrebu da komunicira.

U odeljku 2.2 ćemo se bliže upoznati sa principijelnom strukturom i karakteristikama trenutno aktuelnih bežičnih digitalnih telekomunikacionih mreža zasnovanih na standardima GPRS, TETRA i UMTS, a osim njih će biti pomenute i neke alternativne telekomunikacione tehnologije koje bi u bliskoj budućnosti mogle da posluže kao adekvatan prenosni medijum za mrežu automatskih meteoroloških i drugih telemetrijskih stanica. Imajući u vidu činjenicu da je Internet najverovatnije mrežno okruženje u kome će telemetrijske stanice prenositi svoje podatke, najpre će biti objašnjene strukture TCP i IP paketa, kojima se obavlja komunikacija između svih udaljenih računara na Internetu.

2.1.2. Internet protokoli

Skup Internet protokola (Internet Protocol suite) se sastoji od nekoliko komunikacionih protokola, od kojih su TCP/IP verovatno najpoznatiji. Osim mrežnih protokola nižeg nivoa (poput TCP i IP-a), skup sadrži i detaljne specifikacije aplikacija i servisa koji se mogu koristiti u okviru Internet-a, npr. specifikacije servisa elektronske pošte (electronic mail) i prenosa podataka (file transfer). Osmišljen je kasnih sedamdesetih godina XX veka od strane istraživačkog tima na Univerzitetu Stanford (SAD) pod pokroviteljstvom agencije DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency – Agencija za napredne studije Ministarstva odbrane SAD). Cilj ovih protokola je bilo omogućavanje komunikacije između velikih računara i računarskih mreža koje su tada funkcionisale u okviru odbrambenog sistema SAD, kako bi mogla da bude formirana prva velika mreža za paketni prenos podataka, koja bi pokrivala celokupnu teritoriju SAD. Ovi protokoli omogućavaju povezivanje međusobno vrlo raznorodnih računara i mreža. TCP/IP su nešto kasnije uključeni u Berkeley Software Distribution (BSD) distribuciju UNIX operativnog sistema i od tada su praktično postali osnova celokupne svetske komunikacije putem Internet-a, a sa druge strane Internet je time postao mreža preko koje se mogu međusobno povezati sve manje računarske mreže (samim tim i svi računari) u svetu. Dokumentacija vezana za Internet komunikaciju se povremeno dopunjava novim specifikacijama ili dopunama starih i objavljuje se i distribuira svim zainteresovanim korisnicima Internet-a, a označava se oznakom Request For Comments (RFCs). Adresa stranice na kojoj se nalazi spisak svih do sada publikovanih Internet protokola je navedena u spisku korišćene literature na kraju ovog rada.

Skup Internet protokola obuhvata sve nivoe OSI klasifikacije osim najnižeg (fizičkog). Ovo su standardi otvorenog tipa, tj. nisu u vlasništvu neke organizacije ili kompanije i povremeno se dopunjuju u skladu sa novim tendencijama na tržištu. Na narednom dijagramu su prikazani propisani Internet standardi i referentni nivoi OSI klasifikacije na koje se oni odnose.

OSI model		Skup Internet protokola		
7	Nivo aplikacije		NFS	7
6	Nivo prezentacije	FTP, Telnet SMTP, SNMP	XDR	6
5	Nivo sesije		RPC	5
4	Transportni nivo	TCP, UDP		4
3	Nivo mreže	IP, ICMP, protokoli za rutiranje		3
2	Kanal podataka	ARP, RARP		2
1	Fizički nivo	(nije specificirano)		1

Slika 2.3 - Poređenje skupa Internet protokola i referentnog OSI modela

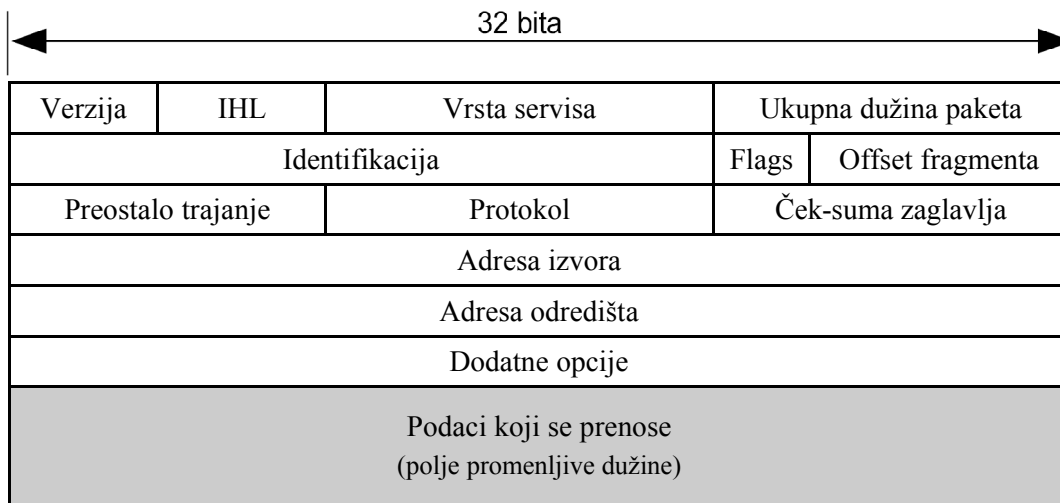
2.1.2.1 IP – Internet Protocol

IP (Internet Protocol – Internet protokol) se odnosi na Nivo mreže (Level_3) OSI klasifikacije i primenjuje se prilikom međusobne komunikacije svih računara putem Internet-a, pri čemu ti računari mogu da budu međusobno raznorodni.

Dva su osnovna zadatka koja se postavljaju pred IP protokol:

- omogućavanje prenosa paketa podataka na što efikasniji način u okviru globalne mreže bez formiranja permanentnih konekcija između krajnjih čvorova
- omogućavanje fleksibilne fragmentacije skupova podataka tokom prenosa i njihovog ponovnog sastavljanja na odredištu, kako bi se mogli koristiti prenosni medijumi (mreže) sa različitim maksimalnim dužinama paketa

Svaki IP paket se sastoji od 14 informacionih polja, a njegova struktura je grafički predstavljena narednim dijagramom:



Slika 2.4 - Struktura IP paketa

Smisao pojedinih polja je sledeći:

Verzija - specifira verziju IP protokola koji se koristi

IHL - (IP Header Length) dužina zaglavlja IP paketa merena u 32-bit rečima

Vrsta servisa - određuje način na koji mrežni protokoli višeg nivoa treba da rukuju paketom tj. zadaje mu nivo važnosti

Ukupna dužina paketa - određuje ukupnu dužinu paketa (u bajtovima) uključujući zaglavlje i polje podataka

Identifikacija - sadrži celobrojnu vrednost koja predstavlja redni broj paketa u okviru izvorne strukture podataka iz koga je nastao; olakšava sastavljanje skupa podataka na odredištu

Flags - (zastavice, ukazivači) ovo polje se sastoji od tri bita: prvi s leva (MSB) se ne koristi, srednji ukazuje na to da li je paket poslednji u izvornom nizu paketa, a desni (LSB) govori da li se ovaj paket sme dalje fragmentirati tokom prenosa

Offset fragmenta - označava relativni položaj podataka koji se prenose paketom u okviru izvorne strukture podataka, čime se omogućava njena pravilna rekonstrukcija na odredištu

Preostalo trajanje - svakom paketu se na izvoru zadaje maksimalno trajanje, mereno brojem mrežnih čvorova kroz koje može da se prosleđuje do odredišta. Prilikom svakog prenosa se ova vrednost umanjuje za 1, a kada opadne na 0 paket se automatski briše. Na ovaj način je onemogućeno beskonačno kruženje paketa mrežom, što bi moglo da dovede do njenog zagušenja.

Protokol - određuje koji mrežni protokol višeg nivoa preuzima obradu nad paketom nakon što on bude prosleđen do određene adrese

Ček-suma zaglavlja - omogućava proveru integriteta zaglavlja paketa (detekciju grešaka)

Adresa izvora - 32-bit adresa izvornog čvora

Adresa odredišta - 32-bit adresa odredišnog čvora

Dodatne opcije - omogućava neke dodatne opcije, npr. specificira povišeni nivo sigurnosti...

Podaci koji se prenose - podaci koje koriste protokoli viših mrežnih nivoa ili aplikacije

Ovako organizovani IP paketi predstavljaju organizovane strukture podataka koje se tokom prenosa putem Internet-a po pravilu prenose kao celovite između svaka dva mrežna čvora. Ukoliko to ipak nije moguće, oni se mogu lokalno izdeliti na manje fragmente, pri čemu se celokupni sadržaj početnog paketa (podaci i zaglavlje) translira u polja podataka nekoliko manjih novih paketa, ukoliko to nije zabranjeno LSB bitom iz polja Flags. Manji paketi koji na taj način nastaju su adresirani do odgovarajućeg obližnjeg mrežnog čvora (rutera) koji po njihovom prijemu rekonstruiše sadržaj izvornog paketa i zatim nastavlja njegov prenos na uobičajeni način.

Sadržina zaglavlja IP paketa je prilagođena specifičnom načinu rutiranja paketa kroz globalnu mrežu, koje se u praksi označava različitim terminima, od kojih su poznatiji Deflection routing (deflekciono rutiranje, tj. "rutiranje sa skretanjem sa glavnog puta") i Hot potato routing ("baratanje vrućim krompirom"). Njegov smisao je u sledećem: sistemski čvorovi u mreži (tzv. ruteri) međusobno prosleđuju IP pakete, pri čemu se trude da oni što pre pristignu do krajnjeg odredišta tj. čvora čija je adresa upisana u polju Adresa_odredišta. Ruteri su po pravilu povezani sa više suseda, a optimalnost puta kojim će neki IP paket biti prosleđen se sa njihove tačke gledišta svodi na izbor susednog rutera kome treba proslediti IP paket. Optimalnost se određuje na osnovu naročite tabele u kojoj se pamti prosečna vrednost polja Preostalo_trajanje paketa koji pristižu sa odgovarajućih krajnjih adresa. Na osnovu te tabele se zatim formira manja tabela u kojoj su prikazani parovi: Adresa_odredišta – optimalni susedni ruter. Kada treba proslediti IP paket do neke određene Adrese_odredišta, ruter dakle zna sa kog susednog dolaznog rutera su mu do tada pristizali IP paketi sa identičnom Adresom_izvora i najvećom vrednošću polja Preostalo_trajanje. Što su paketi bili "mlađi", put kojim su došli je očigledno bio optimalniji i tim istim putem će ruter pokušati da u suprotnom smeru prosledi paket kojim trenutno manipuliše. Ukoliko je ovako procenjeni najoptimalniji put trenutno nedostupan, ruter će pokušati da prosledi paket prvim sledećim manje optimalnim putem itd. (ili čak potpuno nasumično, ukoliko je potrebno minimizirati vreme procesiranja paketâ u određenom ruteru), a ukoliko su po isteku izvesnog kratkog vremena nedostupni svi putevi, ruter može i da vrati dobijeni paket čvoru od koga ga je primio, ali ga nipošto *ne sme zadržavati* kod sebe (otud analogija sa vrućim krompirom). Ovime je izbegnuto preveliko kašnjenje paketa tokom ukupnog prenosa kroz mrežu a istovremeno je obezbeđeno i maksimalno efikasno automatsko konfigurisanje i rekonfigurisanje mreže posle ekscenčnih događaja bez ikakve intervencije stručnog osoblja. Na osnovu izvesnih simulacija Internet-a procenjuje se da bi on bio u stanju da se u potpunosti oporavi (rekonfiguriše) za vreme reda veličine deset sekundi posle eventualne potpune blokade svih komunikacionih puteva i brisanja svih pomenutih optimizacionih tabela!

Ipak, pred IP standard se danas sve češće postavlja i jedan veliki problem. Reč je o nedovoljnoj i fiksnoj dužini adresnih polja u zaglavlju IP paketa, koja ne omogućava da se na Internet istovremeno priključi neograničeno veliki broj potencijalnih korisnika bez podudaranja njihovih logičkih adresa. Kao što se vidi na slici 2.4, dužina adresnih polja iznosi po 32 bita, što teoretski dozvoljava postojanje $2^{32} \approx 4.2 \cdot 10^9$ krajnjih korisnika (tj. računara). Međutim, adresni bitovi su organizovani u 4 polja po 8 bitova, od kojih oni veće težine predstavljaju tzv. logičku adresu matične mreže, a preostali bitovi manje težine adresu pojedinačnog računara (host-a) u okviru lokalne mreže preko koje je povezan na Internet, tako da je u praksi ukupni broj host-računara daleko manji jer najveći broj lokalnih mreža nema na sebe priključen maksimalno mogući broj lokalnih računara. Osim toga, kao što je već pomenuto u odeljku 2.1, broj uređaja

koji se mogu podvesti pod pojam “računar” je danas u svetu daleko veći i od maksimalno mogućeg koji dozvoljava IP protokol. Zbog toga se primenjuje tzv. dinamičko dodeljivanje IP adresa, kada samo oni korisnici Internet-a koji su trenutno aktivni dobijaju određenu privremenu IP adresu, koja traje onoliko koliko traje i njihova konekcija, a može se promeniti već prilikom sledećeg povezivanja na Internet. Dakle, ista logička IP adresa biva u različitim vremenskim trenucima dodeljivana različitim lokalnim korisnicima po slučajnom principu.

Iako ovo nije mali problem, on se trenutno relativno uspešno rešava na nivou lokalnih matičnih mreža, koje su zadužene za uspostavljanje softverskih mehanizama kojima se obezbeđuje pravilno prosleđivanje IP paketa do onih krajnjih korisnika kojima su zaista i bili namenjeni. Očigledno je da bi najjednostavnije i najefikasnije rešenje bilo proširenje adresnih polja u okviru zaglavlja IP paketa, ali se na taj korak Internet zajednica još uvek ne odlučuje zbog izuzetno velikih finansijskih troškova koji bi time bili izazvani. Na ovom mestu će biti pomenuto da osim IP standarda postoji i potpuno nezavisni CLNP (Connectionless Network Protocol – mrežni protokol bez formiranja konekcija) koji je vrlo sličan IP-u ali dozvoljava dinamičko proširenje adresnog prostora u svojim mrežnim paketima, tako da je omogućena komunikacija između praktično neograničenog broja krajnjih korisnika. Ipak, danas je u okviru Internet-a u upotrebi isključivo IP, dok se CLNP koristi samo ponegde, u pojedinim lokalnim mrežama.

Osim IP-a, postoje i naročiti protokoli na OSI Nivou mreže koji propisuju ponašanje ruterâ prilikom rutiranja IP paketa u okviru lokalnih mreža (tzv. IGP - Interior Gateway Protocols, npr. RIP), kao i između udaljenih nezavisnih mreža (EGPs – Exterior Gateway Protocols, npr. BGP).

Treba primetiti da sâm IP protokol ne sadrži mehanizme za verifikaciju prenosa paketa, niti mehanizme za detekciju izgubljenih, umnoženih ili oštećenih paketa. Te funkcije ostvaruje ICMP (Internet Control Message Protocol – Internet protokol za slanje kontrolnih poruka), koji takođe pripada Nivou mreže OSI modela. On propisuje izgled kratkih sistemskih poruka kojima međusobno komuniciraju mrežni ruteri, a koje na primer nose informacije o statusu određene udaljene mreže ili krajnjeg korisnika, o mogućnosti uspostavljanja i efikasnosti određenog mrežnog puta do njih, kao i o postojanju paketâ koji su obrisani iz mreže zbog prevelikog kašnjenja... Sve ove informacije omogućavaju ruterima da budu stalno u dovoljnoj meri upoznati sa trenutnim stanjem mreže i da po potrebi koriguju svoje dalje akcije.

2.1.2.2 TCP – Transmission Control Protocol

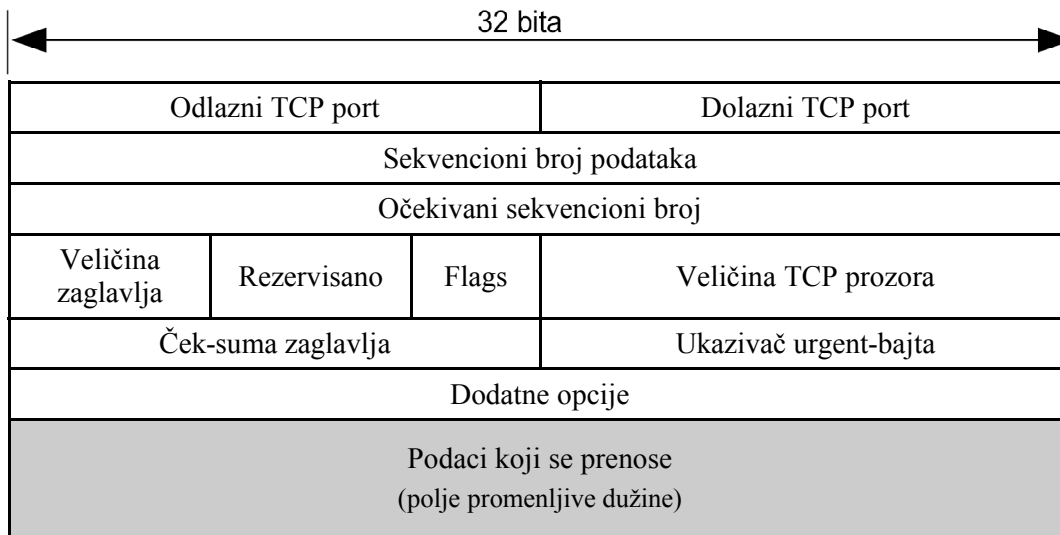
TCP (Transmission Control Protocol - protokol za kontrolu prenosa podataka) pripada Transportnom (prenosnom) nivou (Level 4) referentnog OSI modela. Njegova uloga jeste obezbeđivanje pouzdanog prenosa uređenih struktura podataka (fajlova) u Internet okruženju između dve aplikacije koje se izvršavaju na dva udaljena krajnja (host) računara.

TCP protokol je, dakle, hijerarhijska karika koja uspostavlja i održava konekciju između dve određene aplikacije na dva udaljena računara. Pod pojmom “konekcija” treba podrazumevati “otvaranje komunikacionog puta” na taj način što se uspostavlja sinhronizacija na nivou svih struktura podataka (fajlova) koje dve aplikacije razmenjuju tokom procesa međusobne komunikacije.

Neke od funkcija koje ovaj protokol ostvaruje su: identifikacija pojedinačnih aplikacija koje se izvršavaju na udaljenim računarima, prenos neprekidnih tokova podataka (tj. formiranje virtuelnih kanala između aplikacija), upravljanje ovim tokovima podataka, kontrola pouzdanosti prenosa grupe podataka kao celine, rad u punom dupleks-modu (ovde se ne misli na tip fizičke veze, već na činjenicu da dve udaljene aplikacije mogu istovremeno jedna drugoj da šalju i primaju delove uređenih struktura podataka), multipleksiranje i demultipleksiranje različitih grupa podataka u okviru istih virtuelnih kanala, multipleksiranje i demultipleksiranje podataka koje jedna aplikacija razmenjuje sa više udaljenih aplikacija itd.

Sve pomenute funkcije se ostvaruju tako što se sadržaj svakog TCP paketa koji se prenosi mrežom identifikuje u smislu aplikacije koja ga šalje i aplikacije koja ga prima, kao i u smislu položaja njegovog informacionog sadržaja u okviru organizovane strukture podataka kojoj pripada. Obe udaljene aplikacije zahvaljujući TCP protokolu primaju i naročite signalizacione informacije kojima se potvrđuje ili negira korektan prijem svakog pojedinačnog TCP paketa, a takođe se zahvaljujući njemu (nezavisno od aplikacija) inicira ponovni prenos izgubljenih paketa ili nastavak prenosa ukoliko su svi do tog trenutka poslani paketi uspešno preneti. Kako bi se aplikacije klasifikovale po tipovima, uvedena je standardizacija tzv. softverskih TCP port-ova (priključaka), tako da aplikacije određenog tipa za prenos svojih specifičnih struktura podataka uvek koriste isti port. TCP protokol je na taj način zadužen za upravljanje dvosmernim protokom podataka na svakom host-računaru.

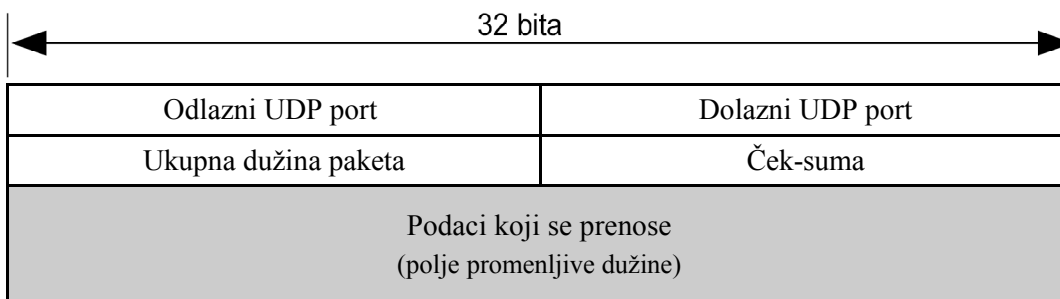
Naredni dijagram grafički prikazuje izgled TCP paketa. Napomenućemo da se kompletan sadržaj jednog TCP paketa (zaglavlje i polje podataka) smešta unutar Polja_podataka IP paketa.



Slika 2.5 - Struktura TCP paketa

Ukoliko se korektnost prenosa podataka obezbeđuje na nivou aplikacija (npr. kriptovanjem, proverom konzistentnosti itd) ili se visoka pouzdanost prenosa ne zahteva zbog prirode aplikacija koje komuniciraju, umesto TCP-a je ekonomičnije koristiti neki jednostavniji protokol, koji će zahtevati prenos manjeg broja sistemskih kontrolnih bitova po jednom prenetom bitu korisničkih podataka (tzv. overhead). Skup Internet protokola u tom slučaju propisuje upotrebu protokola UDP (User Datagram Protocol – korisnički datagram protokol). UDP poput TCP-a razlikuje i identifikuje pojedinačne aplikacije koje se izvršavaju na host-računarima, ali ne sadrži obimne verifikacione mehanizme karakteristične za TCP.

Naredni dijagram grafički ilustruje izgled UDP paketa:



Slika 2.6 - Struktura UDP paketa

2.2. Mobilni telekomunikacioni sistemi

Od sredine XX veka su se širom sveta vršili eksperimenti na polju uvođenja komercijalne mobilne telefonije i civilnih bežičnih komunikacija uopšte. Prvi takvi sistemi, koji su za prenos govora koristili analogne tehnike modulacije (po pravilu uskopojasnu FM modulaciju), pušteni su u rad na teritoriji SAD. Tom prilikom su usvojena određena pravila koja se odnose na sve, pa i savremene komercijalne mobilne sisteme, poput onih o podeli teritorije na manje celine (tzv. “čelije”), neophodnosti posredovanja baznih stanica prilikom komunikacije između pojedinačnih korisnika itd. Komutacija razgovora se u analognim sistemima prirodno vršila po principu komutacije kanala. Ovakvi sistemi se označavaju kao “mobilni sistemi prve generacije” ili 1G.

Na žalost, kvalitet prenetog govora po pravilu nije bio zadovoljavajući, korisnička oprema je bila vrlo skupa, a istovremeno resursi ovakvih sistema u smislu maksimalnog broja korisnika su bili vrlo ograničeni, tako da je “komunikacija u pokretu” bila privilegija najbogatijeg sloja zapadnog društva. Poseban problem je predstavljala potpuna međusobna nekompatibilnost ovakvih sistema, tako da su pretplatnici bili ograničeni na kretanje u okviru svoje matične mreže i uslovljeni da koriste proizvode samo određenog licenciranog proizvođača.

Do osamdesetih godina prošlog veka su razrađene vrlo efikasne i pouzdane tehnike za bežični prenos digitalnih podataka poput tehnika digitalne modulacije signala, algoritama za prevenciju i korekciju grešaka, novih metoda multipleksiranja, novih arhitektura radio-primopredajnika itd. Istovremeno je tehnologija izrade integrisanih kola omogućila realizaciju digitalnih integrisanih kola vrlo visokog stepena integracije (VLSI – Very Large Scale Integration), koja mogu da ostvaruju jako složene algoritme obrade najrazličitijih digitalnih i digitalizovanih analognih podataka, tako da je već naredna (druga) generacija mobilnih telekomunikacionih sistema u potpunosti orijentisana ka prenosu govora u digitalnom obliku. Posebna pažnja je posvećena standardizaciji novih sistema na globalnom nivou, čime je krug potencijalnih korisnika izuzetno povećan tako da su do izražaja najzad mogle da dođu i sve prednosti visokoserijske proizvodnje i slobodnog međunarodnog tržišta. Prvi digitalni standard za mobilnu telefoniju koji je usvojen na celoj teritoriji Evrope nosi naziv GSM, dok se u Severnoj i Južnoj Americi koristi modifikovani GSM (na 1900MHz) i dva različita sistema koja se često označavaju kao PCS/PDC (ili TDMA) i CDMA.

Prednosti digitalnih mobilnih komunikacionih sistema su uskoro uočene i od strane različitih specijalnih službi poput policije, hitne pomoći, vatrogasne službe i vojske. Kako su njihove potrebe donekle različite u odnosu na potrebe civilnih korisnika, za njih je razvijeno nekoliko novih namenskih standarda, od kojih je TETRA (TERrestrial TRunked RADio) trenutno najperspektivniji.

U novije vreme se vrše pokušaji na uvođenju komercijalne satelitske mobilne telefonije i servisa za prenos korisničkih podataka posredstvom satelita u različitim orbitama oko Zemlje. Prednosti komuniciranja putem satelita u odnosu na zemaljske vidove komunikacija su očigledne (inherentna mobilnost, globalna pokrivenost signalom, vrlo veliki propusni opseg...) tako da se trenutno nekoliko najvećih satelitskih provajdera veoma trudi da uspostavi odgovarajuće komercijalne satelitske servise. Međutim, nivo razvoja tehnologije je danas takav da još uvek ne dozvoljava da dvosmerna komunikacija koja bi se odigravala isključivo posredstvom satelita bude po ceni prenosa konkurentna aktuelnim zemaljskim tehnologijama. Zbog toga će na samom kraju ovog poglavlja biti ukratko predstavljena jedna sasvim nova perspektivna tehnologija koja bi uskoro mogla da objedini mnoge prednosti kako zemaljskih, tako i satelitskih mobilnih telekomunikacionih sistema.

2.2.1. Standard GSM

GSM je digitalna mobilna tehnologija koja je rasprostranjena u zemljama Evrope, Afrike, Bliskog Istoka i jednom delu Severne Amerike. Osnove ovog standarda su predložene sredinom osamdesetih godina XX veka, a od strane ETSI (European Telecommunications Standardization Institute) je konačno usvojen 1991. god. GSM je razvijen sa ciljem da se jako velikom broju potencijalnih pretplatnika omogući pouzdana mobilna komunikacija, pre svega prenosom govora i kratkih tekstualnih poruka dužine do 160 alfanumeričkih znakova (SMS – Short Message Service). GSM je značajno unapredio udobnost korišćenja mobilnih uređaja uvođenjem izvesnih kvalitativnih novina, poput razdvajanja identiteta korisnika i mobilnog uređaja upotrebom tzv. SIM kartica (Subscriber Identification Module – modul za identifikaciju pretplatnika), i omogućavanjem korišćenja istog mobilnog uređaja i iste SIM kartice na teritoriji bilo koje mobilne GSM mreže u svetu, a ne samo matične – tzv. Roaming (eng. roam – odlutati). Prenos veće količine korisničkih podataka nije izvorno planiran, o čemu svedoče sledeće činjenice: osnovni GSM standard podržava jako niske bitske brzine u okviru pojedinačnog pretplatničkog kanala (9.6kbps), ne predviđa one medote za detekciju i korekciju grešaka (na Nivou mreže) koje se inače koriste u računarskim mrežama i, najzad, tarifiranje se uvek vrši na osnovu trajanja konekcije (razgovora), bez obzira na stvarno prenetu količinu podaka.

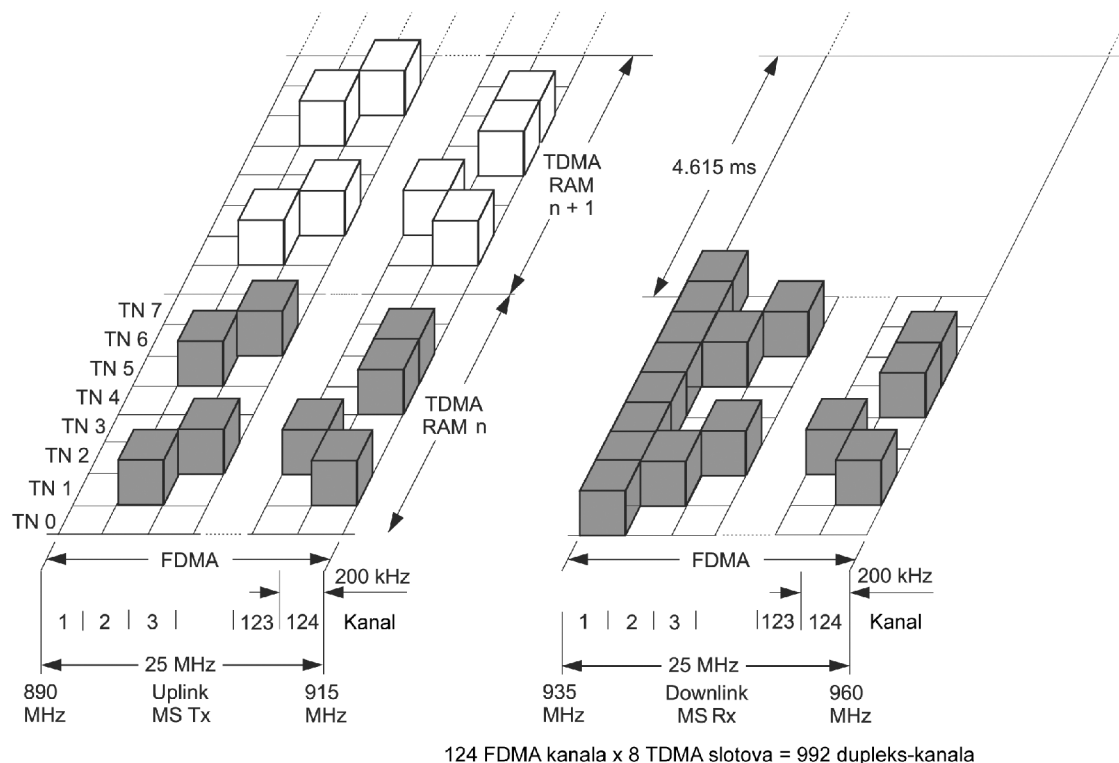
Istovremeno su u Sjedinjenim Američkim Državama razvijena dva principijelno drugačija mobilna sistema sa donekle sličnim preformansama, za koje se koriste skraćenice CDMA (Code Division Multiple Access) i PCS/PDC (Personal Communication System / Personal Digital Cellular). GSM, CDMA i PCS/PDC se često nazivaju i mobilnim sistemima druge generacije (2G). Preostali prostor u okviru ovog odeljka će biti posvećen objašnjenju fizičkih karakteristika tzv. radio-interfejsa GSM sistema i strukturne organizacije GSM mreža.

2.2.1.1 GSM radio-interfejs

Za rad GSM sistema je predviđen frekventni opseg 890 - 915MHz za prenos govora od mobilnih uređaja do baznih stanica (uplink) i 935 - 960MHz za prenos u suprotnom smeru (downlink). Oba podopsega su podeljena na po 124 kanala širine 200kHz, čime je ostvarena FDMA raspodela (Frequency Division Multiple Access – višestruki pristup po frekvencijama). Osim toga, u okviru svakog kanala se koristi vremenska raspodela resursa po TDMA principu (Time Division Multiple Access – višestruki pristup u vremenu). Svakom aktivnom mobilnom uređaju za prenos i prijem informacija na raspolaganju stoji jedan od 8 vremenskih kanala (tzv. slot - ova) u okviru jednog od 124 korisničkih frekvencijskih (prijemnih i predajnih) kanala, što znači da je teoretski u svakom trenutku moguće opsluživati do 992 aktivna pretplatnika putem svake pojedinačne bazne stanice. Ova podela je prikazana na slici 2.7. Dopunom standarda je omogućeno dodatno proširenje oba frekventna opsega za po 15MHz (tj. 75 frekvencijskih kanala širine 200kHz), što omogućava povećanje maksimalnog broja aktivnih pretplatnika na 1592 po baznoj stanici.

Prvi frekvencijski kanal ne služi za komunikaciju sa mobilnim uređajima već se u njemu od strane baznih stanica emituju kontrolni podaci, npr. vremenske reference za korekciju frekvencija lokalnih oscilatora mobilnih uređaja, vrši se prozivanje mobilnih uređaja, emituju opšta obaveštenja itd.

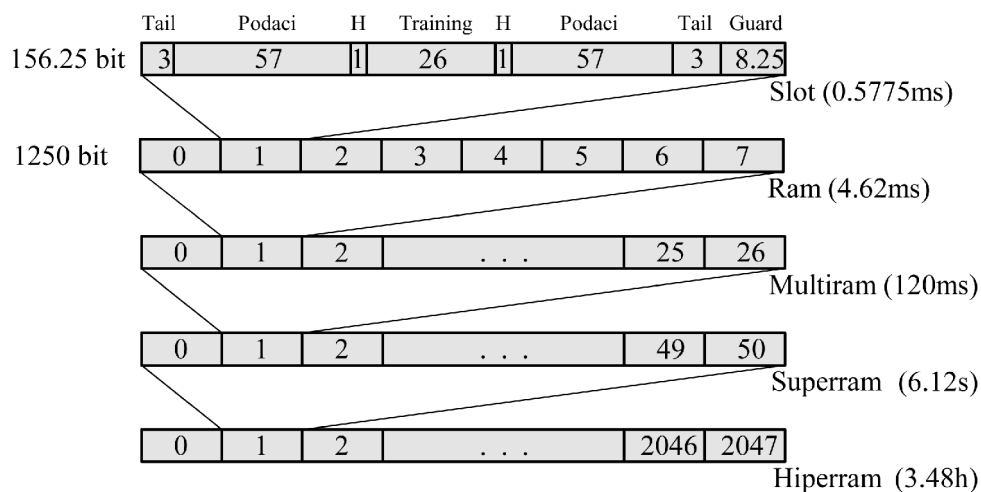
Posmatrano na Nivou kanala podataka OSI modela, svakom pretplatniku u vremenskom domenu na raspolaganju stoji jedan interval (slot) od 0.577ms, tokom kojih se vrši razmena podataka sa lokalnom baznom stanicom u okviru jednog frekvencijskog kanala. Osam elementarnih vremenskih slot-ova čini jedan vremenski ram (frame) u okviru koga se ciklično ostvaruje komunikacija između bazne stanice i 8 mobilnih uređaja. Frekvencijski kanal koji koristi grupa od 8 pretplatnika može da se menja u svakom narednom vremenskom ramu (tj. oko 216 puta u sekundi) u zavisnosti od toga da li je u sistemu primenjena zaštitna tehnika spore FH (Frequency Hopping - skakanje frekvencija). Frekvencija službenog kanala se nikada ne menja.



Slika 2.7 - Kombinovana FDMA i TDMA raspodela kanala u GSM mrežama

Primenjena kombinacija FDMA i TDMA multipleksiranja omogućava uspostavljanje veze sa mobilnim korisnicima koji se kreću brzinama do maksimalno 250km/h ili su udaljeni maksimalno 30km od najbliže bazne stanice.

Osam elementarnih vremenskih slot-ova čini jedan vremenski ram (frame) koji traje 4.62ms. Ukupni informacioni sadržaj jednog slot-a je 156.25 bitova od čega je 116 korisničkih a ostali nose službene informacije. Način formiranja tzv. multi-ramova, super-ramova i hiper-ramova je prikazan na narednom dijagramu. Ažuriranje informacija o statusu svakog pojedinačnog pretplatnika (pozivanje) se vrši najmanje jednom tokom trajanja hiper-rama.



Slika 2.8 - Organizacija ramova u GSM mrežama

Za kodiranje glasa se koristi naročiti sistem kodiranja označen kao RPE-LPE (Regular Pulse Excitation - Long Term Prediction). Zvuk iz mikrofona se odabira učestanošću od 8kHz sa 13-bit rezolucijom i zatim kodira RPE-LPE koderom na 13kbps. Dodavanjem kontrolnih bitova za prevenciju i korekciju grešaka dobija se digitalni signal od 22kbps koji se šalje putem jednog pretplatničkog radio-kanala. Osim ovog osnovnog (tzv. half-rate) koder, na raspolaganju je i tzv. full-rate koder koji prenosi govor brzinom od 11kbps, čime se kapacitet mreže u celini udvostručava.

Mobilni uređaji ne vrše predaju i prijem signala simultano, već postoji određena pauza u trajanju od najmanje jednog slot-perioda, što dodatno pojednostavljuje konstrukciju antenskih filtara primopredajnika (nije potreban duplexer) i omogućava stabilizaciju frekvencije lokalnog PLL sintezatora, čak i kada se u mreži koristi spora FH. Osim toga, vrši se detekcija aktivnosti govora korisnika, tako da se bitovi koji kodiraju govor emituju samo tokom perioda kada govornik zaista govori, dok se u periodima tišine emituje mali broj kontrolnih bitova kojima se od mreže zahteva da sagovorniku šalje naročiti audio-šum, kako on ne bi imao utisak da je veza prekinuta. Na ovaj način se dodatno štedi baterija mobilnog uređaja.

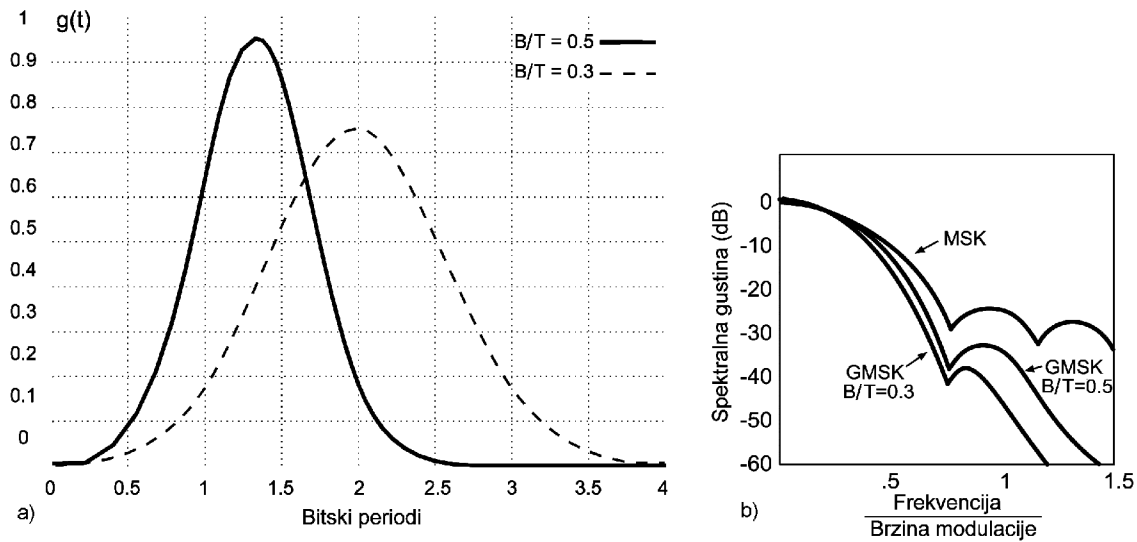
Korisnici mogu da prenose i proizvoljne digitalne podatke, ali je brzina prenosa ograničena na svega 9.6kbps, što je nedovoljno za većinu savremenih aplikacija. Osim toga, tarifiranje se vrši isključivo na osnovu trajanja konekcije, jer su tokom ovakvog prenosa podataka resursi mreže zauzeti u istoj meri kao da se vrši prenos govora. Ovo je jako nepovoljno sa aspekta krajnjih korisnika.

Brzina protoka podataka u jednom frekventnom kanalu iznosi 270kbps. Za prenos svih podataka se unutar svakog frekventnog kanala koristi jedan poseban oblik MSK modulacije (Minimum Shift Keying – Minimalna digitalna frekventna modulacija) koji se označava kao GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying – Gauss-ova minimalna frekventna modulacija).

MSK je jedan oblik FSK (digitalne frekventne) modulacije. Važno svojstvo svih FSK modulacija je konstantnost amplitude modulisanog signala, tako da se mogu koristiti izlazni stepeni predajnika koji nisu linearni a uz to mogu da budu i izuzetno efikasni ($\eta > 95\%$), što istovremeno smanjuje kompleksnost i cenu predajnika i produžava vek baterije iz koje se mobilni uređaj napaja energijom. Ukoliko se kod FSK tokom svakog bitskog intervala ostvaruje relativni fazni pomak od $\pm(2n+1)\pi/2$ rad, signal će u prijemniku moći da bude detektovan jeftinim i pouzdanim QAM faznim demodulatorom. MSK pripada ovoj grupi FSK modulacija i kod nje je u okviru bitskog intervala fazni pomak modulisanog signala u odnosu na nemodulisani nosilac minimalan ($n=0$) i iznosi $+\pi/2$ rad kada se emituje logička 1, odnosno $-\pi/2$ rad kada se emituje logička 0. Očigledno je da je spektar ovako modulisanog signala uži od ostalih varijanti iz iste grupe, kod kojih je $n > 0$. GMSK modulacija je naročiti oblik MSK modulacije koji se realizuje tako što se binarni simboli zadatom bitskom brzinom najpre propuštaju kroz tzv. Gauss-ov filter, a zatim vode na MSK modulator (najčešće QAM modulator sa I i Q ulazima) koji formira modulisani transponovani signal. Razlog za korišćenje Gauss-ovog filtra je smanjivanje strmine ivica modulacionih impulsa (tzv. slew-rate) čime se dodatno sužava frekventni opseg koji zauzima modulisani signal. Na slici 2.9 se može primetiti da su relativne amplitude bočnih maksimuma u spektru modulisanih signala znatno manje kod GMSK u odnosu na osnovnu MSK.

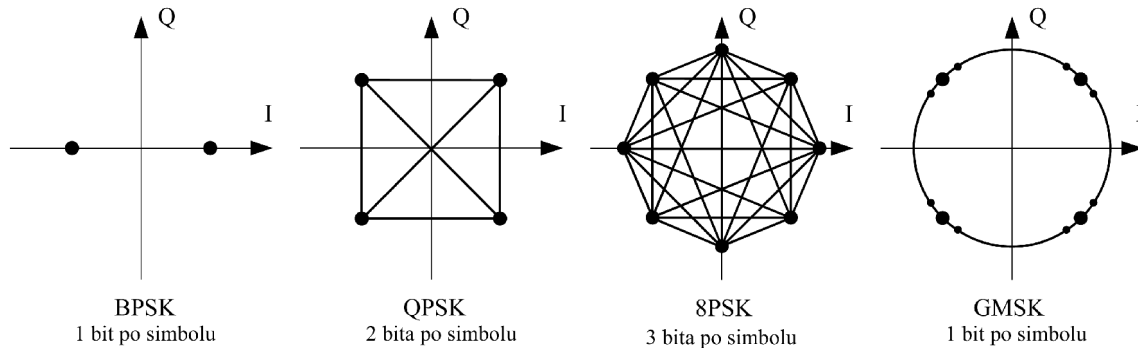
Gauss-ovi filteri nose taj naziv jer njihov impulsni odziv ima oblik normalne Gauss-ove funkcije raspodele gustine verovatnoće (ne sadrži prebačaje i podbačaje u vremenskom domenu). Ovi filteri se karakterišu vrednošću odnosa B/T (Bandwidth/Time – propusni opseg/vreme), koji predstavlja inverznu vrednost vremena izraženog u bitskim intervalima tokom koga signal na izlazu filtra ima vrednost ne manju od 10% u odnosu na svoj relativni maksimum. Za manji odnos B/T se dobijaju širi impulsi u vremenu, ali i uži spektar izlaznog signala. Kod GSM sistema je usvojenono $B/T = 0.3$ jer ta vrednost dovodi do formiranja spektralno efikasnih modulisanih signala, čiji je spektar sužen i gotovo da ne sadrži sporedne maksimume, tako da je međukanalna interferencija praktično eliminisana. Pri tome je intersimbolska interferencija (vremensko preklapanje susednih simbola) dovoljno mala da se dekodiranje u prijemniku može

jednostavno i efikasno izvršiti. Na slici 2.9. su prikazani impulsni odzivi Gauss-ovih filtara za dva odnosa G/T i relativna spektralna gustina snage signalâ na njihovim izlazima.



Slika 2.9 - Odzivi Gauss-ovih filtara u vremenskom i frekventnom domenu

Na narednoj slici su međusobno upoređeni tzv. amplitudsko-fazni (I-Q) dijagrami nekih vrsta digitalnih modulacija koje se danas često koriste. Može se primetiti da amplituda GMSK signala, za razliku od ostalih klasičnih vrsta digitalnih faznih modulacija, nikada ne pada na nulu (tj. ne prolazi kroz centar dijagrama - tada je izračena snaga jednaka nuli), niti u bilo kom trenutku odstupa od konstantne vrednosti.



Slika 2.10 - Amplitudsko fazni (I-Q) dijagrami nekoliko najčešćih vrsta digitalnih faznih modulacija. Udaljenost od centra dijagrama predstavlja trenutnu amplitudu, a pozitivni ugao u odnosu na I-osu trenutnu fazu modulisanog sugnala u odnosu na nemodulisani nosilac. Nominalni amplitudsko-fazni stavovi simbolâ u onim trenucima u kojima treba vršiti detekciju odgovarajućih signala su označeni crnim kružićima.

Primenjena kombinacija FDMA i TDMA podele kanala i usvojenog načina modulacije omogućava komunikaciju sa korisnicima koji od bazne stanice nisu udaljeni više od 30km (inače bi bila narušena vremenska sinhronizacija TDMA ramova zbog propagacionog kašnjenja signala) i koji se ne kreću brže od 250km/h u radialnom pravcu u odnosu na istu (inače bi se izgubila frekventna sinhronizacija kanala zbog Doppler-ovog efekta).

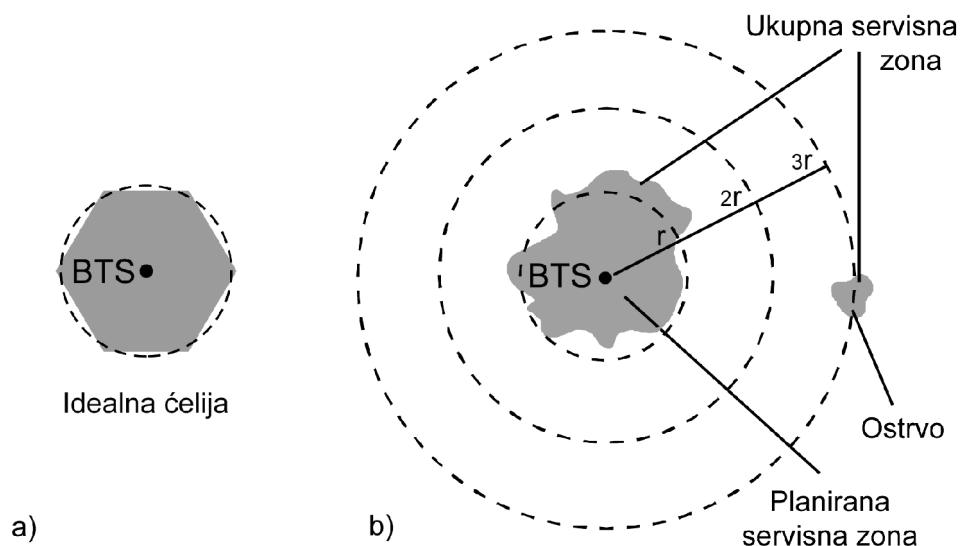
2.2.1.2 Sistemske komponente GSM mreža

GSM sistemi su podeljeni na dva funkcionalna podsistema: podsistem baznih stanica i mrežni podsistem. Uloga podsistema baznih stanica je koordinacija rada mreže u celini pre svega na fizičkom OSI nivou – ostvaruje se planirana raspodela frekvencija po ćelijama i obezbeđuje komunikacija svih komponenti sistema (tj. funkcionalnih centara) sa mobilnim korisnicima. Mrežni podsistem vrši lokalnu komutaciju saobraćaja u mreži i ostvaruje sve više sistemske funkcije mreže (tarifiranje, signalizaciju...).

BSS (Base Station Subsystem) - Podsistem baznih stanica. Kao što je već pomenuto, celokupna teritorija jedne GSM mreže je topološki podeljena na veći broj tzv. “ćelija”, tako da pretplatnici koji se trenutno nalaze na teritoriji određene ćelije vrše direktnu radio-komunikaciju sa baznom primopredajnom stanicom koja se u topološkom smislu nalazi u njenom centru. Ovakvi sistemi se zbog toga označavaju i terminom “celularni” (eng. cell - ćelija).

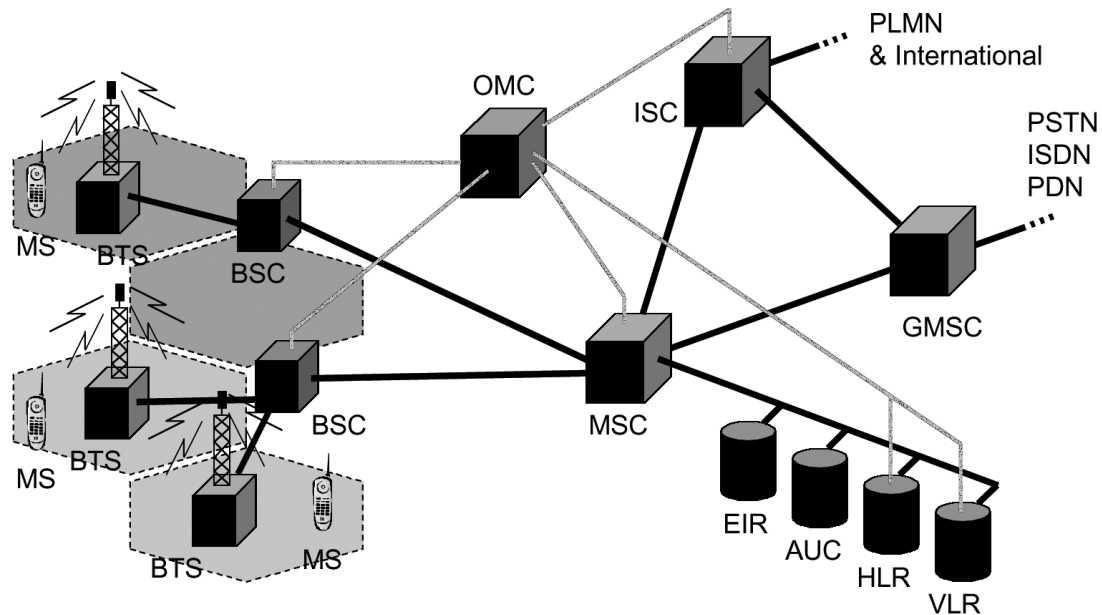
Teritorijalna raspodela baznih stanica može biti proizvoljna, a veličine tzv. baznih ćelija mogu da variraju u skladu sa gustinom pretplatničke populacije na određenom području. U urbanim sredinama su snage predajnika baznih stanica manje i one se postavljaju na manjoj međusobnoj udaljenosti, tako da je omogućena veća gustina ukupno ostvarenog saobraćaja u odnosu na slabo naseljena područja. Ćelije su u idealnom slučaju šestougaoanog oblika, mada on u praksi dosta varira u zavisnosti od lokalnih uslova prostiranja radio-talasa. Najveći preporučeni prečnik ćelije je 35km. Određenu ćeliju je ponekad moguće dodatno podeliti na tri podćelije približno trougaonog oblika (postavljene pod uglovima od 120°).

Ukoliko je pretplatnik u pokretu i pređe granicu pokrivanja dve susedne ćelije, aktivira se tzv. Handling procedura (eng. handling – rukovanje nečime, misli se na “rukovanje” signalom mobilnog pretplatnika od strane podsistema baznih stanica u okviru mreže), kojom se raskida komunikacija pretplatnika sa početnom i uspostavlja komunikacija sa novom baznom stanicom, bez prekidanja razgovora. Svaki aktivni mobilni uređaj tokom trajanja razgovora na svakih 480ms šalje svojoj baznoj stanici izveštaje o primljenim nivoima signala od svih okolnih baznih stanica, na osnovu čega se podešavaju snage zračenja predajnika mobilnog uređaja i bazne stanice (u 15 koraka od 2dB, minimalna snaga zračenja je 13dBm ili 20mW) ili se čak aktivira handover procedura. U početku su primopredajnici (BTS – Base Transceiver Station) i kontroleri (BSC – Base Station Controller) bili posebni moduli u okviru baznih stanica, dok su danas češće u upotrebi tzv. inteligentni BTS-i koji objedinjuju obe funkcije BSS podsistema.



Slika 2.11 - Oblik a) idealne i b) realne ćelije u celularnom mobilnom sistemu

Network Subsystem - Mrežni podsistem. Da bi GSM sistem efikasno funkcionisao, neophodno je vođenje opsežnih baza podataka o svakom pretplatniku (trenutni položaj i status, ostvareni saobraćaj, iznos preostalog kredita...). Osim toga, kroz mrežu je potrebno prenositi signale razgovora, digitalne korisničke podatke i signalizacione informacije. Različite GSM mreže često uspostavljaju i naročite kanale za direktnu međusobnu komunikaciju putem kojih mogu da razmenjuju sve podatke vezane za pretplatnike koji su trenutno u Roaming-u (ne nalaze se na teritoriji matične GSM mreže), a potrebno je da poseduju i dvosmerne veze sa PSTN (Public Switched Telephone Network – javna analogna telefonska mreža), Internet-om i po potrebi sa nekim drugim mrežama posebne namene. Principijelna struktura GSM mreže je prikazana na narednoj slici:



Slika 2.12 - Struktura GSM mreže

Značenja skraćenica:

- MS** (Mobile Station) - Mobilna korisnička oprema
- BTS** (Base Transceiving Station) - Bazna stanica
- BSC** (Base Station Controller) - Kontroler baznih stanica
- MSC** (Mobile Switching Center) - Komutacioni centar mobilne mreže
- GMSC** (Gateway MSC) - Komutacioni centar ka drugim mrežama
- ISC** (International Switching Center) - komutacioni centar ka međunarodnim mrežama
- OMC** (Operating and Maintenance Center) - Operativni i servisni centar
- EIR** (Equipment Identity Register) - Registar identiteta korisničke opreme
- AUC** (Authentication Center) - Centar za autentifikaciju korisnika
- HLR** (Home Location Register) - Registar lokacija sopstvenih korisnika
- VLR** (Visitor Location Register) - Registar lokacija gostujućih korisnika (u roaming-u)

———— - tok korisničkih i signalizacionih podataka

- - - - - tok internih kontrolnih podataka

Kako bi prenos informacija kroz ovako složene sisteme bio usklađen, predviđena je standardizacija u skladu sa referentnim OSI modelom na svim sistemskim nivoima.

2.2.2. Standard GPRS

Devedesetih godina XX veka, dakle u vreme puštanja u rad 2G mobilnih mreža, u svetu je došlo do svojevrsne “informatičke eksplozije” izazvane pojavom Interneta i jeftinih personalnih računara, tako da se vrlo brzo ukazala potreba za projektovanjem naredne, treće generacije mobilnih sistema (3G), koja je zamišljena kao fizički nosilac budućih brzih mobilnih informatičkih servisa zasnovanih na Internet tehnologijama.

Da bi se osim prenosa govora omogućio i prenos dovoljno velike količine proizvoljnih korisničkih podataka, bilo je pre svega neophodno povećati propusnu moć prenosnih kanala dostupnih pojedinačnim korisnicima i istovremeno povećati pouzdanost prenosa podataka kroz mrežu. Međutim, zaista funkcionalne 3G mreže predstavljaju veliki kvalitativni tehnološki skok u odnosu na 2G sisteme, tako da je kao prelazno rešenje predstavljen standard GPRS (General Packet Radio Services – Opšti paket-radio servis), a popularni naziv za ovakve sisteme je 2.5G (mreže “druge i po” generacije).

GPRS krajnjim korisnicima dozvoljava teoretski maksimalne brzine prenosa podataka do 171kbps uz nisku verovatnoću bitske greške γ . Osim toga, korisnicima koji rade u režimu prenosa podataka se više ne naplaćuje vreme trajanja konekcije kao kod osnovnog GSM standarda, već isključivo ostvareni bitski protok. GPRS koristi postojeću mrežnu infrastrukturu GSM mreža, s tim da je neophodno da se izvrši minimalna softversko-hardverska nadgradnja pojedinih sistemskih komponenta. Prenos govora se vrši na identičan način kao u klasičnim GSM mrežama, tako da je sva starija korisnička oprema i dalje funkcionalna, a novija pruža i dodatne usluge bazirane na prenosu veće količine podataka, poput ostvarivanja brzih bežičnih konekcija ka Internetu, razmene multimedijalnih MMS poruka (Multimedia Messaging Service) koje osim teksta mogu da nose digitalizovane slike i zvučne zapise itd.

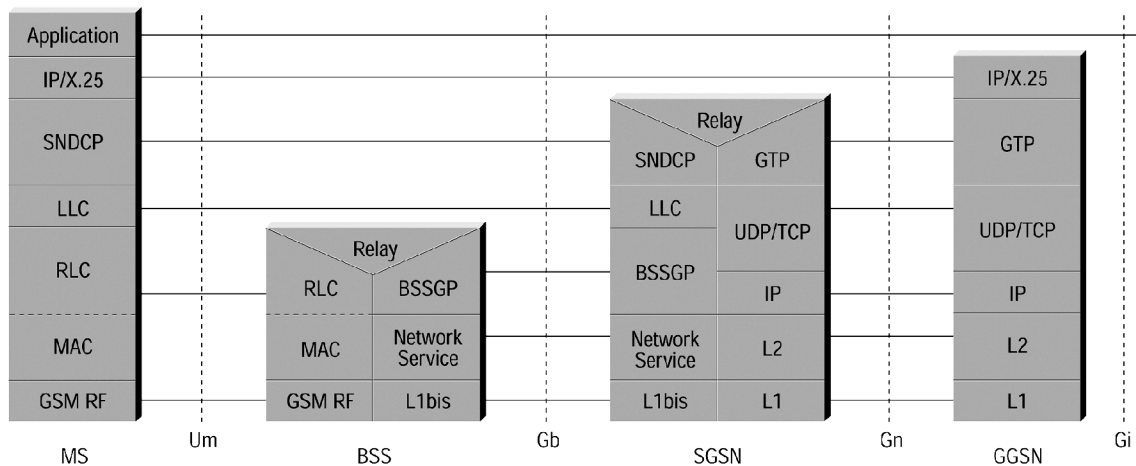
U Srbiji i Crnoj Gori je u vreme pisanja ovog rada u funkciji nekoliko GPRS mobilnih mreža, u SAD i nekoliko zemalja Evropske Zajednice su pušteni u rad prvi veliki 3G sistemi, dok je u Japanu 3G tehnologija već uveliko zaživela. Zbog toga će u nastavku ovog rada biti objašnjena fizička struktura mobilnih mreža druge-i-po i treće generacije i načini na koje se u njima vrši prenos korisničkih podataka.

2.2.2.1 GPRS Radio-interfejs

Kod GPRS-a je zadržana postojeća podela GSM radio-spektra na kanale širine 200kHz i vremenska podela na TDMA ramove i “slotove” trajanja 0.5775ms. Kao što je već pomenuto, prenos govora se odvija na isti način kao i kod standardnih GSM mreža, što znači da se svakom korisniku koji obavlja telefonski razgovor dodeljuje jedan od osam vremenskih slotova iz jednog prijemnog i jednog predajnog frekvencijskog kanala. Razlika u odnosu na GSM sistem je u tome što se oni slotovi koji trenutno nisu zauzeti prenosom govora dodeljuju GPRS korisnicima koji žele da vrše prenos podataka. Oni po potrebi mogu da dobiju na korišćenje jedan ili više slobodnih vremenskih slotova u okviru jednog frekvencijskog kanala, pri čemu više GPRS korisnika može naizmenično da koristi slotove istog rednog broja, ili jedan korisnik može da dobije na korišćenje više uzastopnih slotova – sve to zavisi od trenutnog broja GPRS korisnika i prirode njihovih zahteva. Novi softver u okviru svake bazne primopredajne stanice odlučuje o tome koji će GPRS korisnik dobiti neki vremenski slot određenog frekvencijskog kanala na korišćenje u određenom trenutku. Ustupanje svih slobodnih slotova aktivnim GPRS korisnicima se, dakle, optimizuje imajući u vidu njihove pojedinačne potrebe po pitanju bitskog propusnog opsega i dozvoljenog kašnjenja prenetih podataka.

Na ovaj način je uz mala dodatna sistemska ulaganja omogućeno maksimalno iskorišćenje ukupnog propusnog opsega mreže. Zadržana je ista vrsta modulacije (GMSK), tako da nije potrebna zamena postojećih baznih primopredajnika, i sva starija GSM korisnička oprema može neometano da funkcioniše. Najveći broj sistemskih komponenta zahteva samo softversku nadgradnju. Dodatni hardver je potrebno instalirati u okviru svake bazne primopredajne stanice,

gde se postavljaju čvorišta koja upravljaju lokalnim paketnim saobraćajem (SGSN - Serving GPRS Support Node). Neophodno je instalirati i novo centralno čvorište za komutaciju paketnog saobraćaja (GGSN – Gateway GPRS Support Node), kao i dodatne širokopojasne vodove kojima su ove sistemske komponente međusobno povezane. Na narednoj slici su prikazani standardi koji se koriste za prenos korisničkih podataka na određenim OSI sistemskim nivoima i između pojedinih sistemskih komponenata GPRS mreža:



Slika 2.13 - Komunikacioni protokoli koji se koriste u GPRS mrežama

Kako bi se GPRS sistemi što jednostavnije i efikasnije integrisali u globalnu svetsku informacionu mrežu (Internet), omogućeno je da se podaci u GPRS sistemima prenose u skladu sa Skupom Internet protokola. U tom slučaju se IP paketi formiraju na nivou mobilnih uređaja, od strane odgovarajućih aplikativnih programa koji se na njima izvršavaju.

U GPRS mrežama je govornim pozivima dodeljen viši prioritet u odnosu na prenos podataka, jer je za prenos govora neophodna neprekidna veza između mobilnog uređaja i bazne stanice, dok aplikacije koje zahtevaju prenos podataka u principu mogu da sačekaju određeno vreme da bi izvršile prenos paketa. Najveća brzina prenosa GPRS podataka se ostvaruje u situacijama kada na dodeljenom frekvencijskom kanalu nema aktivnih pretplatnika koji obavljaju telefonske razgovore, tako da je svih 8 vremenskih slot-ova u ramu dostupno za prenos podataka. Što je više slot-ova u okviru rama zauzeto za prenos govora, brzina prenosa digitalnih podataka opada. Tako se očekuje da maksimalna brzina prenosa u realnosti neće prelaziti 114kbps, dok će se prosečne brzine kretati oko 33kbps.

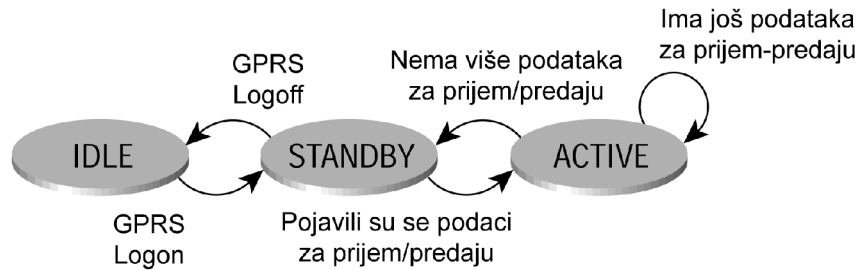
Opisani način rada mreže omogućava da GPRS korisnici budu neprekidno “on-line”, tj. između njih i ciljne informacione mreže se mogu formirati tzv. “virtualne konekcije”. Tada krajnji korisnik ima utisak da je neprekidno povezan sa željenom mrežom, dok se u realnosti prenos paketa podataka vrši isključivo kada to zahteva korisnik ili mreža sa kojom je on povezan. Na ovaj način se GPRS sistem opterećuje samo tokom trajanja stvarnog prenosa podataka, pa je i tarifiranje komunikacije vezano za količinu prenetih podataka, a ne za vreme trajanja virtualne konekcije. Kako bi bio omogućen ovakav način rada, definisana su tri stanja GPRS korisničke opreme:

Active, u kome se nalaze oni korisnici koji trenutno vrše realan prenos podataka,

Stand-By, u kome se nalaze korisnici koji imaju otvorenu virtualnu konekciju, ali trenutno ne vrše prenos nikakvih podataka, i

Idle, koje se odnosi na korisnike koji nisu u stanju virtualne konekcije (isključeni).

Promene stanja korisničke opreme se vrše u skladu sa usmerenim grafom koji je prikazan na slici 2.14. na narednoj strani.



Slika 2.14 - Tri moguća stanja GPRS korisničke opreme

Klasična GSM korisnička oprema može da se nalazi u svega dva stanja (Active i Passive). Uvođenje trećeg (Stand-By) stanja je ključ za efikasno iskorišćenje radio-interfejsa, jer je zahvaljujući njemu omogućeno uspostavljanje virtualnih konekcija.

GPRS korisnička oprema se svrstava u tri klase, u zavisnosti od toga da li podržava istovremenu komunikaciju u GSM i GPRS modovima rada:

- Class A**, koja omogućava istovremenu dvosmernu GSM i GPRS komunikaciju,
- Class B**, koja može u svakom trenutku da uspostavi GSM ili GPRS komunikaciju, ali samo jednu u istom trenutku, pri čemu GSM ima viši prioritet, i
- Class C**, kod koje korisnik mora da izabere da li će biti dostupan u GSM ili GPRS modu.

2.2.2.2 EDGE

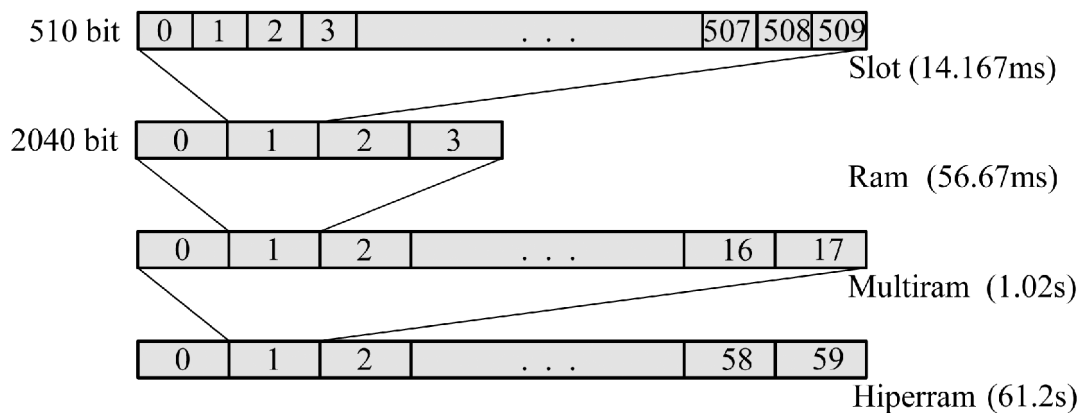
Dodatno povećanje brzine paketnog prenosa u GSM-kompatibilnim mrežama, uz zadržavanje iste frekvencijske i vremenske podele spektra, može se ostvariti isključivo promenom vrste digitalne modulacije što zahteva veća systemska ulaganja u odnosu na prelaz GSM → GPRS jer je neophodna hardverska nadgradnja ili čak zamena svih baznih primopredajnih stanica. Standard koji propisuje ovu nadgradnju je poznat pod nazivom EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution – povećanje bitskih brzina evolucijom GSM sistema). Predviđeno je korišćenje 8-PSK modulacije u onim slot-ovima u kojima se prenose paketi korisničkih podataka, čime se maksimalna brzina prenosa u dobrim uslovima prostiranja može povećati do 384kbps. Ovo bi omogućilo uvođenje osnovnih “broadband” (širokopojasnih) mobilnih servisa, npr. jednostavne video-telefonije.

Ipak, EDGE ni na koji drugi način (osim navikavanja krajnjih korisnika na određeni broj novih servisa) ne može da posluži kao prelazno rešenje do 3G sistema, koji se u potpunosti razlikuju od GSM mreža. Zbog toga EDGE nije šire rasprostranjen. Najveći broj mobilnih operatera koji je odlučio da svojim korisnicima omogući nove širokopojasne servise po pravilu radije formira potpuno nezavisne 3G sisteme. O njima će biti reči u odeljku 2.2.4.

2.2.3. Standard TETRA

TETRA (TERrestrial Trunked Radio – zemaljski trunking radio) su digitalne telekomunikacione mreže namenjene za korišćenje od strane posebnih državnih i privatnih službi poput vojske, policije, vatrogasne službe, službe hitne pomoći, elektrodistribucije itd. TETRA je novi digitalni standard koji predstavlja veliki kvalitativni skok u odnosu na dosadašnje analogne sisteme. Iako pomenute službe imaju čitav niz specifičnih potreba, ovaj standard je u velikoj meri izveden iz osnovnih principa na kojima počiva rad GSM i GPRS sistema, jer su se oni u praksi pokazali kao vrlo robustni i prilagodljivi.

Opseg radio-frekvencija koji se dodeljuje TETRA mrežama (380 – 395MHz ili 870 - 921MHz) je podeljen na predajni i prijemni podopseg, a oni na kanale širine 25kHz. Primenjena je vremenska organizacija TDMA ramova na 4 hijerarhijska nivoa, pri čemu se jedan ram trajanja 56.67ms sastoji od 4 vremenska “slota” trajanja po 14.167ms, kao što je prikazano na narednoj slici:



Slika 2.15 - Organizacija ramova u TETRA mrežama

Svaki korisnik tokom obavljanja komunikacije dobija na korišćenje po jedan vremenski slot u okviru jednog frekvencijskog radio-kanala iz predajnog i prijemnog frekventnog podopsega. U jednom slotu se prenosi 510 bitova podataka, od kojih je 78 službenih i 432 informaciona.

U TETRA sistemima se koristi linearna diferencijalna fazna modulacija tipa $\pi/4$ -DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), čiji je amplitudsko-fazni dijagram prikazan na slici 2.16. Brzina modulacije u jednom frekvencijskom kanalu iznosi 36kbps. U skladu sa opisanom TDMA podelom, ovo znači da se u okviru jednog korisničkog vremensko-frekvencijskog kanala ukupni prenos podataka (informacionih i službenih) vrši brzinom od $36\text{kbps} / 4 = 9\text{kbps}$.

Govor se kodira ACELP (Adaptive Code Excited Linear Predictive) algoritmom sa protokom od 4.8kbps, koji obezbeđuje visoku razumljivost. Prilikom predaje, podaci sa izlaza ACELP govornog koda se podvrgavaju osnovnom i kanalskom kodovanju (blokovo, simboličko, premeštanje redosleda bitova i skremblovanje), čime se formiraju informacije saobraćajnih kanala sa 7.2kbps otporne na smetnje kojima se najzad vrši modulacija VF nosioca i emitovanje. Umesto govora je moguće prenositi proizvoljne korisničke digitalne podatke, a brzina protoka se u zavisnosti od izabranog nivoa zaštite i broja ustupljenih vremenskih slot-ova (dakle, slično GPRS mrežama) kreće od 2.4kbps do 28.8kbps.

Korisnici se u ovim mrežama identifikuju putem svojih SIM kartica. I ovde je, dakle, izvršeno razdvajanje identiteta korisnika i korisničke opreme poput onog u GSM sistemima.

Specifičnosti TETRA u odnosu na javne mobilne mreže su trojake. Pre svega, u TETRA mrežama je moguće formirati nekoliko potpuno nezavisnih logički organizovanih podmreža, tako da korisnici iz različitih podmreža u normalnim situacijama međusobno ne komuniciraju. Na primer, moguće je organizovati nezavisne podmreže koje koriste vojska, policija, vatrogasna služba itd. Međutim, u slučaju nastupanja ekscenčnih događaja moguća je brza promena logičke

organizacije TETRA mreže, kada se vrši formiranje tzv. “teritorijalno organizovanih radnih grupa korisnika” čime se povećava efikasnost delovanja svih odgovornih službi na određenoj teritoriji. Tako je npr. u slučaju požara moguće formirati privremenu grupu korisnika sastavljenu od nekoliko jedinica policije, hitne pomoći i vatrogasnih kola. Svi korisnici unutar ovakve grupe međusobno komuniciraju i svima se istovremeno daju grupna saopštenja i sl, kako bi u datoj situaciji mogli da koordiniraju svoja delovanja i na što efikasniji način izvrše svoje specifične zadatke. Kako bi kontrola logičke organizacije TETRA mreže i svih pojedinačnih podmreža bila što efikasnija, predviđeno je postojanje nekoliko dispečarskih službi čiji operateri upravljaju komunikacijom unutar pojedinih podmreža, privremenih teritorijalnih radnih grupa ili cele mreže. Osim toga, korisnicima se dodeljuju različiti prioriteti i slobode komunikacije u zavisnosti od njihovog ranga i zaduženja u matičnim službama.

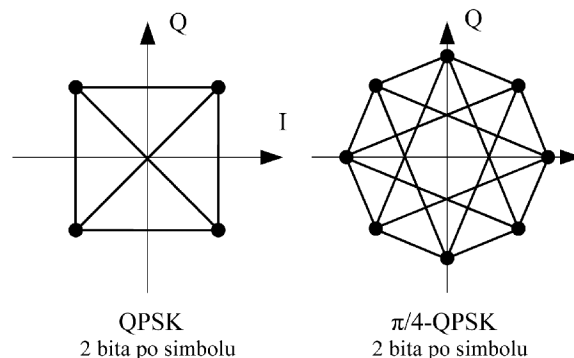
Druga specifičnost u odnosu na javne mobilne mreže su načini obavljanja komunikacije između korisnika. Tako je osim normalnog (dupleksnog) razgovora između dva korisnika moguća i komunikacija više korisnika u polu-dupleksnom modu (“push-to-talk”), upućivanje grupnih poziva, davanje grupnih saopštenja govorom ili kratkim tekstualnim porukama itd.

Treća specifičnost TETRA sistema se ogleda u tome što je moguće uspostavljanje komunikacije između određenog broja korisnika čak i na onim teritorijama koje su van dometa baznih stanica! Implementirani komunikacioni protokol omogućava da dve ili više mobilnih stanica uspostave međusobnu komunikaciju bez posredovanja bazne stanice i dispečarske službe, a moguće je čak i da jedna od mobilnih stanica sa većom izlaznom snagom predajnika (po pravilu se takve stanice ugrađuju u vozila) preuzme na sebe ulogu privremene bazne stanice i vrši reemitovanje slabijih signala ostalih korisnika, kako bi se povećala mogućnost uspostavljanja njihove komunikacije na terenima sa nepovoljnom geografskom strukturom.

Prenos korisničkih podataka se u TETRA mrežama može vršiti po principu komutacije kanala ili paketa, a protok je dovoljan za osnovne potrebe službi kojima su ovakvi sistemi namenjeni. Tako je uz primenu savremenih tehnika za kompresiju podataka moguć prenos digitalizovanih fotografija, geografskih karata, delova baza podataka i sl.

U vezi sa paketnim prenosom podataka u okviru TETRA mreža postoji jedna specifičnost. Naime, u njima se ne koristi TCP/IP već CLNP protokol (Connection-Less Network Protokol – mrežni protokol bez formiranja konekcija). CLNP paketi se takođe sastoje od zaglavlja i informacionog dela, s tim što je organizacija ovih celina različita u odnosu na IP pakete. Najveća prednost CLNP-a u odnosu na IP je praktično neograničena mogućnost adresiranja jer se broj bitova koji čine adresni prostor može dinamički povećavati u zavisnosti od potreba mreže. Iako ovo nije zanemarljiva prednost, insistiranje na CLNP-u u svetu u kome gotovo sve velike paketne mreže rade u skladu sa TCP/IP-om je ipak problematična odluka.

Standard TETRA je podržan od strane preko 60 najvećih proizvođača telekomunikacione opreme u svetu. U nekim zemljama Evropske Unije je više od 95% teritorije pokriveno signalima njihovih baznih stanica. Predviđa se da će budući TETRA sistemi obezbeđivati sigurnu komunikaciju i u najzahtevnijim radnim uslovima, a brzina prenosa podataka će se povećavati.



Slika 2.16 - I-Q dijagram QPSK i $\pi/4$ -QPSK modulacije

2.2.4. Mreže treće generacije – UMTS i ITM-2000

Najvažniji zahtev koji se postavlja pred treću generaciju digitalnih mobilnih mreža je prenos multimedijalnih (grafičkih, audio i video) sadržaja, tj. vrlo velike količine korisničkih podataka. Kako bi se skratio proces projektovanja i pojednostavila sistemska struktura 3G mreža, svi servisi koji će u njima postojati, uključujući i prenos telefonskih razgovora, biće ostvarivani u skladu sa principima paketnog prenosa podataka i paketne komutacije. Rukovanje korisničkim podacima od strane sistema će biti zasnovano na IP standardu. Ovo je važna činjenica jer omogućava da se svi aplikativni programi koji su do sada razvijeni za komunikaciju u IP okruženju mogu i dalje neometano koristiti u novim 3G mrežama.

Svi 3G sistemi danas nose zvaničnu oznaku ITM-2000 (International Mobile Telecommunications - 2000) koja osim UMTS standardizuje još nekoliko naprednih vrsta bežičnih, mobilnih i satelitskih sistema: DECT+, TD-CDMA, FD-TDMA, cdma2000, UWC-136.

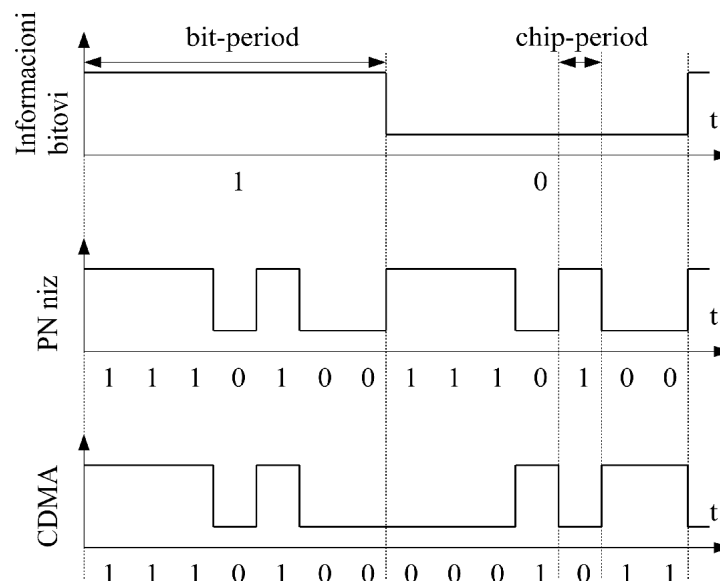
Predviđa se da će korisnici 3G mreža biti u mogućnosti da ostvaruju konekcije brzinama i do 2Mbps, što će omogućiti kvalitetnu implementaciju savremenih širokopojasnih servisa poput emitovanja radio i TV programa putem Internet-a (tzv. audio i video streaming), video-telefonije, održavanja telekonferencijskih prenosa i sl. Takođe, posebna pažnja je posvećena postizanju visokog stepena kompatibilnosti između zemaljskih i satelitskih 3G sistema.

Organizacija radio-interfejsa koja će biti primenjena u 3G sistemima je vrlo različita u odnosu na do sada opisivanu organizaciju GSM/GPRS i TETRA radio-interfejsa, tako da će u nastavku biti objašnjene njene osnovne karakteristike.

2.2.4.1 Radio-interfejs 3G sistema

U Evropi je za UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) predviđen opseg frekvencija između 1.9GHz i 2.2GHz. UMTS 3G mobilne mreže će koristiti tzv. W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) tehniku radio-prenosa, koja omogućava efikasno iskorišćenje raspoloživog radio-spektra, a istovremeno znatno olakšava projektovanje raspodele sistemskih resursa po baznim stanicama i krajnjim korisnicima.

Klasična CDMA (Code Division Multiple Access) tehnika prenosa se zasniva na veštačkom širenju spektra originalnog digitalno modulisanog signala na taj način što se izvorni niz bitova pre emitovanja množi izabranim pseudoslučajnim (PN – Pseudo Noise) nizom, s tim da je trajanje digita ("chip-bita") PN niza znatno kraće od trajanja prenošenih bitova:



Slika 2.17 - Osnovni princip CDMA kodiranja

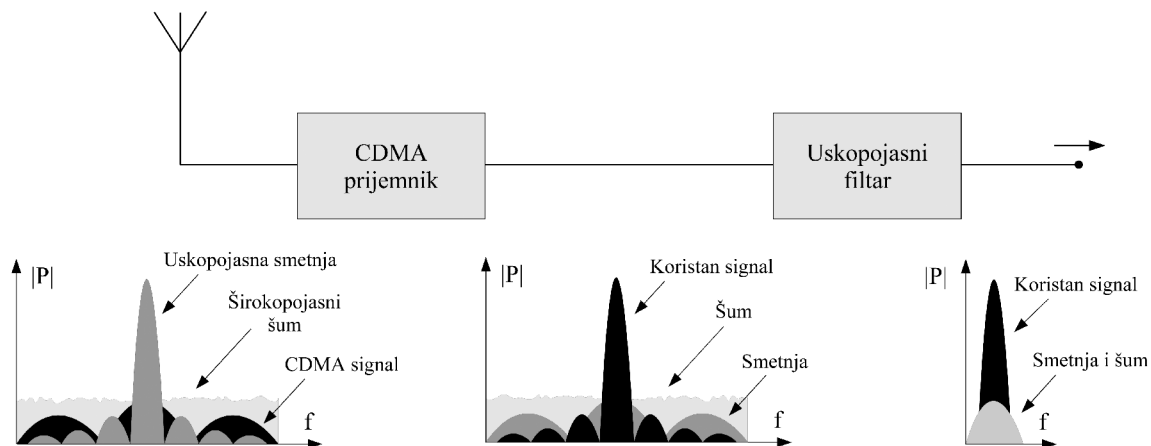
Rezultujući signal ima mnogostruko širi spektar od izvornog a istovremeno njegova ukupna snaga nije promenjena, tako da je rezultujuća srednja spektralna gustina snage CDMA signala znatno manja od originalne - ponekad je čak i ispod srednje spektralne gustine snage šuma u prenosnom kanalu. Na prijemnoj strani se primljeni signal širokog spektra množi identičnim i vremenski sinhronizovanim PN nizom, čime se rekonstruiše izvorni ("uskopojasni") digitalni signal. Jednoznačnost procesa CDMA kodiranja/dekodiranja je posledica činjenice da međukorelaciona funkcija dva različita međusobno ortogonalna PN niza uvek teži nuli:

$$\varphi_n(t), \varphi_m(t)$$

$$\int_a^b \varphi_n(t) \cdot \varphi_m^*(t) dt = \begin{cases} 0, m \neq n \\ k_n, m = n \end{cases} \quad [2.1]$$

Zbog toga je praktično nemoguće dekodiranje CDMA signala bez poznavanja PN niza koji je upotrebljen za njegovo formiranje. Kako je moguće formirati praktično neograničeni broj PN nizova, CDMA sistem može da ima jako veliki broj krajnjih korisnika.

Važno svojstvo CDMA prenosa je izrazito visoka otpornost na ometanje uskopojasnim i širokopojasnim smetnjama. Naredna slika ilustruje promene koje doživljavaju spektri izvornih CDMA signala i smetnji u CDMA radio-prijemniku. Može se primetiti da uskopojasni ometajući signali praktično ne utiču na kvalitet prijema čak i bez upotrebe zaštitnih kanalnih kodova jer se u CDMA prijemniku, nakon množenja PN nizom, oni pretvaraju u širokopojasni šum vrlo male spektralne gustine snage, dok se istovremeno spektralna gustina snage izvornog uskopojasnog signala znatno povećava (rekonstruiše). Spektralna gustina snage širokopojasnih šumova i CDMA signala koji su kodirani drugim PN nizovima se ne menja, tj. ostaje mala. U sledećem koraku se uskopojasnim filtrom izdvaja (sada uskopojasni) korisni signal čime se odstranjuje najveći deo snage svih ometajućih signala.



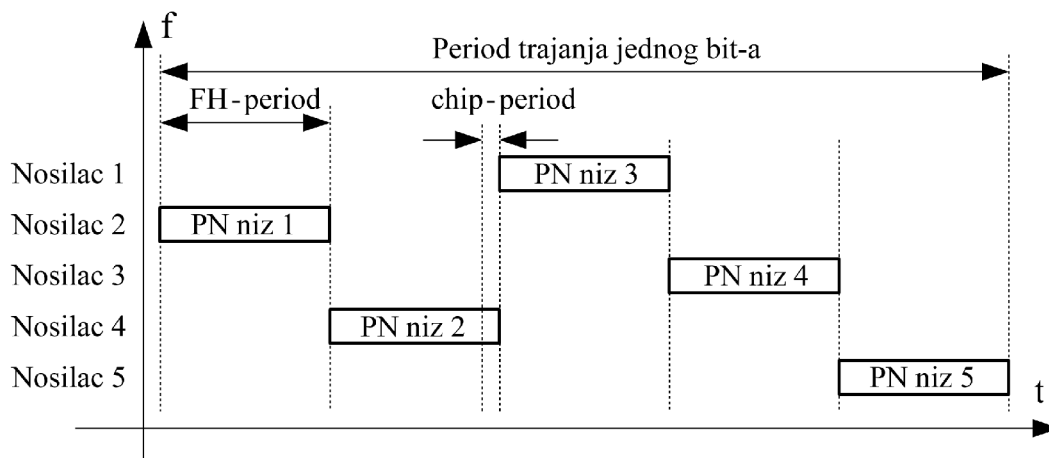
Slika 2.18 - Potiskivanje uskopojasnih smetnji u CDMA prijemniku

Na izgled spektra dobijenog CDMA signala se može uticati izborom karakteristika upotrebljenih PN nizova. Na taj način se mogu optimizovati određena svojstva emitovanih signala, npr. može se uticati na veličinu međukanalne interferencije ili na otpornost signala na uskopojasni šum. Ovo je važno ako se želi maksimalno dobro iskorišćenje frekventnog opsega u kome sistem radi i minimiziranje predajne snage mobilne opreme (čime se štede njihove baterije i smanjuje mogućnost ometanja drugih radio-sistema na istoj teritoriji).

Jedan od potencijalnih problema u CDMA sistemima je tzv. Near - Far (blizu - daleko) efekat. Naime, u sistemu u kome više predajnika istovremeno emituje svoje CDMA signale, na mestu prijema će posle rekonstrukcije spektralna gustina snage željenog signala biti utoliko veća

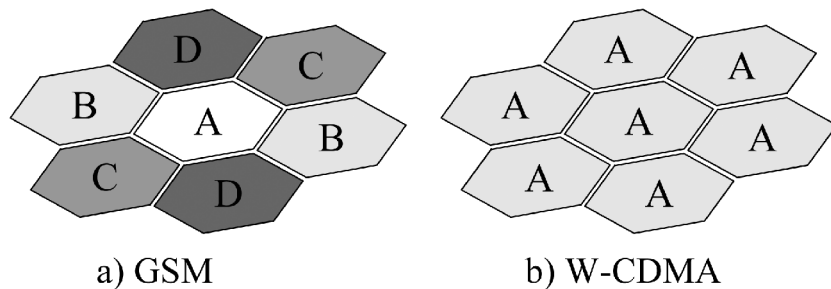
od spektralne gustine snage ometajućeg ukoliko je trenutna (parcijalna) međukorelaciona funkcija PN nizova koji se koriste u dva CDMA kodera bliža nuli. Kako ova funkcija nije u svakom trenutku jednaka nuli, postoji mogućnost da rekonstruisana snaga ometajućeg CDMA signala privremeno bude veća od snage željenog, npr. ukoliko se ometajući predajnik nalazi znatno bliže od onog čiji signal želimo da primimo ili ukoliko ima znatno veću izlaznu snagu od njega. Tada će bitovi željenog signala biti maskirani šumom koji potiče od spektra ometajućeg CDMA signala. U 3G sistemima ovaj efekat može da se javi unutar prijemnika baznih stanica ukoliko se ne vodi računa o tome da signali svih mobilnih korisnika stižu na lokaciju bazne stanice sa približno jednakim srednjim snagama. Zbog toga bazne stanice neprekidno moraju da vrše kontrolu izlazne snage svih mobilnih predajnika putem namenskih kontrolnih kanala. Near – Far efekat se ne javlja u prijemnicima mobilnih korisnika jer je u njihovom prijemnom opsegu aktivan samo jedan predajnik (predajnik bazne stanice).

W-CDMA prenos predstavlja kombinaciju klasične CDMA tehnike i FFH prenosa (Fast Frequency Hopping – brzo skakanje frekvencija) po unapred definisanim FDMA kanalima. Naime, ukupno raspoloživi spektar je izdvojen na frekventijske kanale (u 3G sistemima su oni širine 5MHz), a unutar svakoga od njih se primenjuje CDMA kodiranje međusobno nezavisnim PN nizovima. Svaki bit podataka koji treba emitovati se tokom svog trajanja emituje u skladu sa unapred zadatim FH sekvencama po nekoliko FDMA kanala, i uz korišćenje nezavisnih PN nizova u svakom od njih. Proces ilustruje sledeća slika:



Slika 2.19 - Princip W-CDMA kodiranja

Posledica primene ovakve kodne šeme je to da je verovatnoća javljanja Near - Far efekta na nivou svakog pojedinačnog bita vrlo mala, pod uslovom da se vodi računa o tome da su FH sekvence koje koriste različiti mobilni predajnici međusobno različite jer se tada u većini vremenskih intervala tokom kojih se smituje jedan bit korisničkih podataka FDMA kanali koje koriste različiti mobilni korisnici neće poklapati. Na teritoriji jedne iste bazne stanice se istovremeno koriste svi FDMA kanali, tj. celokupni propusni opseg mreže, zbog čega je planiranje prostorne raspodele frekventijskih kanala u ovako složenim mrežama nepotrebno jer sve bazne stanice mogu sve vreme da koriste ceo predviđeni W-CDMA frekventni opseg – sve dok se za kodiranje podataka koriste različite ili vremenski nesinhronizovane FH sekvence i PN nizovi, korisnici neće međusobno ometati jedan drugoga! Pri tom različiti mobilni korisnici mogu vršiti prenos podataka različitim i u vremenu promenljivim bitskim brzinama što je vrlo povoljno sa aspekta multimedijalnih servisa.



Slika 2.20 - Planiranje frekvencija u GSM i W-CDMA mrežama

Ukupni dobijeni spektar W-CDMA signala je jako širok, tako da su znatno smanjeni efekti prostiranja radio-talasa u prisustvu refleksija - tzv. selektivni fading. Pri tom ova tehnika podjednako dobro eliminiše i brzi i spori selektivni fading što omogućava da se bazne stanice koje rade u okviru istog 3G sistema mogu međusobno veoma razlikovati po pitanju izlaznih snaga a samim tim i veličine teritorije koju pokrivaju signalom. Tako je npr. zamišljeno da neke od budućih baznih stanica pokriju signalom površinu nekog većeg poslovnog centra, dok će u okviru iste mreže one najveće pokrivati teritorije od preko 100km². Preuzimanje signala mobilnih korisnika između susednih baznih stanica će se odvijati po tzv. Soft_Hand-over proceduri (“meko preuzimanje”), kod koga određeno kratko vreme signal istog korisnika obrađuju obe bazne stanice tako da ne dolazi do prekida u komunikaciji korisnika sa mrežom u celini.

2.2.5. Satelitske mreže za prenos podataka

Prenos korisničkih podataka putem satelita je tehnologija koja postaje realnost. U vreme pisanja ovog rada (avgust 2005.god) u svetu je postojalo petnaestak velikih kompanija koje su pružale usluge prenosa mobilnih telefonskih razgovora ili korisničkih podataka putem satelita. U zavisnosti od toga da li su upotrebljeni sateliti namenski dizajnirani za prenos dvosmerne komunikacije ili su iskorišćeni standardni sateliti za prenos satelitske televizije, usluge koje ove kompanije nude se međusobno dosta razlikuju, i kreću se u rasponu od naručivanja prenosa određene količine podataka unapred (naručuju se putem zemaljske Internet mreže, nakon čega se emituju do krajnjih korisnika preko satelita), sve do tzv. satelitske telefonije i potpuno interaktivne širokopojasne Internet komunikacije (VSAT).

Na žalost, do sada se najveći broj kompanija koje su se uključile u ovu "trku" suočio sa velikim finansijskim teškoćama. Uzrok najverovatnije leži u činjenici da još uvek ne postoji jedinstveni svetski standard za prenos podataka putem satelita, što praktično onemogućava formiranje globalnog i otvorenog tržišta za proizvođače satelitske opreme, a samim tim i započinjanje visokoserijske proizvodnje korisničke opreme. To znači da su potencijalni korisnici primorani da vrlo oprezno biraju sistem čije usluge nameravaju da koriste s obzirom na potpunu neupotrebljivost vrlo skupe primopredajne opreme u okviru drugih sistema.

Verovatno najpoznatiji primer sistema koji je doživeo potpuni finansijski krah jeste sistem za globalnu satelitsku telefoniju Iridium, koga je osnovala kompanija Motorola a pušten je u rad 1. novembra 1998.god. Ulaganja su iznosila približno 7 milijardi USD i očekivalo se da će već tokom prve godine rada imati najmanje milion korisnika širom sveta. Na žalost, ispostavilo se da je cena korisničkog terminala od 3000\$ i ponuđena cena međunarodnih razgovora od 7\$/min bila previsoka čak i za najveći broj poslovnih ljudi, tako da je posle godinu dana bilo prijavljeno manje od 15.000 korisnika i uskoro je objavljeno gašenje sistema. Svih 77 Iridium-ovih satelita je još uvek u svojim orbitama ali su posle likvidacije kompanije dodeljeni Ministarstvu odbrane SAD i ono ih trenutno koristi isključivo za svoje potrebe.

Trenutno se najviše nade polaže u sistem Teledesic čiji osnovni projekat predviđa korišćenje 288 LEO setelita. Po 24 satelita će biti postavljeno u 12 ravnomerno raspoređenih kružnih polarnih sub-sinhronih orbita na visini od 700km. Svaki satelit će svojim signalom pokrivati površinu Zemlje približno kvadratnog oblika, stranice 700km. Sistem će funkcionisati kao globalni svetski Internet provajder, a ponuđene brzine prenosa podataka će se kretati u rasponu od 16kbps do 2Mbps. Za oba smera komunikacije će se koristiti Ka-band (18 - 20GHz). Većinski vlasnik je kompanija Microsoft, a ulaganja tokom prve razvojne faze će iznositi približno 9 milijardi USD. Sistem će biti u funkciji najmanje 10 godina. Revizijom projekta je zamišljeno proširenje sistema tokom druge razvojne faze na čak 840 satelita.

Treba primetiti da je satelitska (i uopšte, kosmička) tehnologija početkom XXI veka u stvari još uvek u početnim fazama razvoja, tako da u ovoj oblasti u budućnosti treba očekivati velike promene u pozitivnom smislu. Očekuje se da će korišćenje usluga bar nekih od satelitskih sistema uskoro postati pouzdan, globalno dostupan i relativno jeftin način za prenos velike količine podataka između jako velikog broja krajnjih korisnika. Nije još uvek jasno koji će tip satelita (LEO, MEO ili GEO) biti najekonomičniji za eksploataciju u tim budućim sistemima, niti koji će standard za prenos podataka zavladati tržištem. Ipak, prednosti koje satelitski prenos podataka poseduje u odnosu na ostale (globalna pokrivenost, nezavisnost od lokalne zemaljske infrastrukture, veliki propusni opseg, mogućnost rada u ekscenim situacijama...) su takve da je gotovo izvesno da će u narednim decenijama neki novi sistemi uspeti da se izbore sa svim finansijskim teškoćama i postati deo svakodnevice.

U tabeli na narednoj strani su nabrojani satelitski operateri koji su trenutno aktivni ili će uskoro krenuti sa radom, a koji pored ostalih servisa pružaju i usluge satelitske telefonije ili prenosa korisničkih podataka.

Oprater	Konstelacija	God. lansiranja	Vrste servisa
Inmarsat	9 GEO	1982	Govor, podaci, IP
Eutelsat	18 GEO	1983	Radio, TV, IP
PanAmSAT	21 GEO	1983	Govor, podaci, radio, TV
Intelsat	19 GEO	1984	Govor, radio, TV, Internet
Orion	3 GEO	1994	IP multicast-emitovanje
Iridium	66 LEO	1999	Satelitska mobilna telefonija
Globalstar	48 LEO	1999	Satelitska mobilna telefonija
Ellipso	2 GEO	2001	GMPCS
Thuraya	2 GEO	2001	Sat. mobilna telefonija i GPS
Europ Star	2 GEO	2001	Govor, podaci, radio, TV
Hughes Spaceway	2 GEO	2002	Radio, TV, IP
Astra	7 MEO	2002	GMPCS
ICO-Teledisc	10 MEO	2003	Satelitska mobilna telefonija
Astrolink	4 GEO	2003	Dvosmerno emitovanje
Teledesic	288* LEO	2004	IP
Skybridge	80 LEO	2004	IP

Napomena: LEO – Low Earth Orbit, orbite na visinama između 290 i 1700km visine

MEO – Medium Earth Orbit, orbite na visinama oko 10.000km visine

GEO – Geostationary Earth Orbit, ekvatorijalna orbita visine 35.768km

U najskorijoj budućnosti treba očekivati i pojavu određenih bežičnih tehnologija koje čak prevazilaze mogućnosti satelitskih sistema. Tako se, na primer, od strane NASA-e (National Agency for Space and Aeronautics – Nacionalna agencija za kosmos i aeronautiku SAD) vrše probni letovi bespilotnih letelica napajanih solarnom energijom koje lete na visinama od 20 do 30km (u stratosferi) brzinom od približno 35km/h i koje bi mogle da posluže kao platforme koje će nositi radiorelejnu telekomunikacionu opremu. Ove letelice bi trebalo da budu postavljene tako da mesecima neprekidno kruže iznad velikih gradova, gde bi vršile funkciju baznih primopredajnih stanica budućih telekomunikacionih mreža veoma velikog propusnog opsega. Njihove prednosti u odnosu na sve tipove satelita su: neuporedivo manje rastojanje i relativna brzina kretanja u odnosu na zemaljske korisnike, znatno niža cena postavljanja takve stanice na radnu poziciju i mogućnost njene brze i jednostavne dogradnje, popravke ili zamene novom. Upotrebom ovakvih letelica kao platformi za montiranje bazne telekomunikacione opreme biće izbegnuto i narušavanje estetike modernih gradova koje se danas čini postavljanjem velikih nosećih stubova baznih primopredajnih stanica. Sa jedne takve eksperimentalne letelice nazvane Pathfinder Plus je tokom meseca jula 2002. godine sa visine od 19.800m emitovan digitalni HDTV signal iznad Havajskog ostrva Kauai a istovremeno je na njoj bila aktivna i mala IMT-2000 bazna stanica.



Slika 2.21 - HELIOS – eksperimentalni solarni avion

3. Savremene merne službe

3.1 Uvod - savremeno tržište telekomunikacija

Ukoliko uporedimo prvo i drugo poglavlje ovog rada, primetićemo da se te dve analize suštinski razlikuju. Naime, dok je u prvom poglavlju dosta prostora bilo posvećeno opisivanju detalja fizičke strukture radio-modema, u drugom je fizička realizacija primopredajnih modula koji rade u okviru pomenutih sistema u potpunosti apstrahovana. Za to postoji dobar razlog.

Pre svega, očigledno je da moduli putem kojih se obavlja komunikacija u jako složenim sistemima moraju i sami da budu zavidnog nivoa složenosti. U okviru takvih celina se po pravilu integriše veliki broj osnovnih funkcionalnih blokova poput oscilatora, modulatora i demodulatora, koda i dekodera, filtara, a u poslednje vreme se sve više insistira i na ugradnji naročitih namenskih mikroprocesora. Objedinjavanjem svih njihovih funkcija i realizacijom celih takvih modula tehnologijama visokog stepena integracije moguće je dobiti minijaturne i vrlo pouzdane celine sa precizno definisanim i izuzetno stabilnim radnim karakteristikama. Proizvodnjom primopredajnih čipova i modula se danas po pravilu bave velike internacionalne kompanije, koje su praktično jedine u stanju da dovoljno brzo reaguju na pojavu novih telekomunikacionih standarda i tržištu na vreme ponude nove funkcionalne blokove po prihvatljivoj ceni. Znatno veći broj drugih nezavisnih kompanija koje proizvode korisničku telekomunikacionu opremu kupuje već gotove module od originalnih proizvođača i jednostavno ih ugrađuje u svoje buduće proizvode. Ovaj sistem proizvodnje se u praksi pokazao kao nejdolotvorniji jer omogućava usku specijalizaciju pojedinih kompanija, tako da svaka od njih može da postigne vrhunske rezultate u svojoj oblasti rada. Tako se proizvođači funkcionalnih modula, koji se često označavaju terminom OEM (Original Equipment Manufacturer – originalni proizvođač opreme) staraju o tome da moduli zadovolje zahtevane radne karakteristike, dok proizvođači gotovih korisničkih uređaja više pažnje mogu da posvete dizajnu, ukupnoj funkcionalnosti proizvoda i hardversko - softverskoj ergonomiji njihovog korišćenja.

Dakle, danas se proizvodnjom i projektovanjem hardvera po pravilu bave usko specijalizovani veliki proizvođači i projektantski biroi. Razlog leži u tome što cena projektovanja nekog proizvoda ne zavisi od broja primeraka koji će biti proizvedeni, ali zavisi od njegove kompleksnosti. Hardverski moduli koji se projektuju za rad u savremenim komunikacionim sistemima moraju da budu vrlo kompleksni i istovremeno vrlo pouzdani. Za realizaciju takvih celina su neophodni brojni usko specijalizovani i iskusni stručnjaci, skupa laboratorijska oprema, izuzetno skup namenski softver, a na raspolaganju treba imati i dovoljno vremena za ostvarivanje faza projektovanja, testiranja i optimizacije finalnog proizvoda. Kada se sve navedeno uzme u obzir, jasno je da se u svetu samo mali broj velikih specijalizovanih kompanija bavi realizacijom hardvera jer su jedino oni u stanju da procese projektovanja i proizvodnje sprovedu dovoljno brzo i kvalitetno, i po tržišno prihvatljivoj ceni.

Zbog svega do sada rečenog se realizacija prva tri OSI nivoa nekog konkretnog telekomunikacionog sistema, npr. mernog sistema, danas po pravilu svodi na izbor hardverskih modula sa najprihvatljivijom cenom, dobrim radnim karakteristikama i eventualno nekim posebnim svojstvima, kao što su na primer: otpornost na uticaje atmosferskih padavina, mogućnost rada na ekstremno visokim ili niskim temperaturama i slično.

Poslednjih godina se pojavljuju i takva modularna rešenja koja u sebe uključuju i deo četvrtog (Transportnog) OSI nivoa, kako bi se proces projektovanja konkretnog komunikacionog sistema još više pojednostavio i olakšao. Ovakvi moduli prirodno stiču sve veću popularnost među kompanijama koje se bave realizacijom telekomunikacionih sistema i servisa.

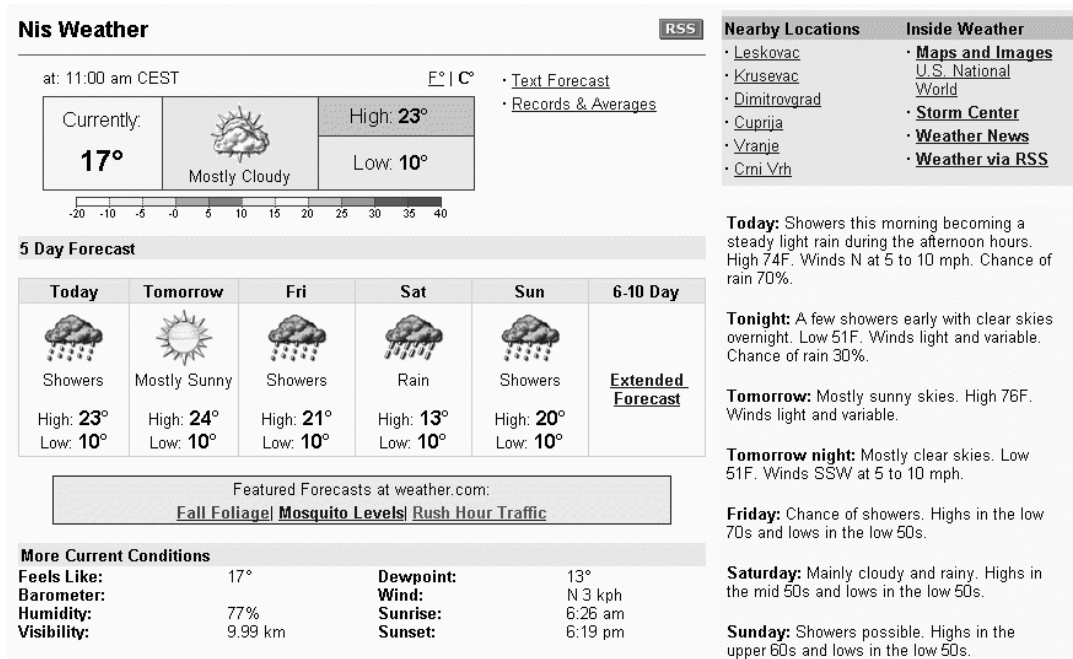
U ovom poglavlju će biti u opštim crtama predstavljen jedan od načina na koji se problem organizacije i realizacije savremenog mernog sistema može jednostavno rešiti, a koji uzima u obzir pomenute prednosti savremene tehnologije i organizacije tržišta.

3.2 Rad mernih službi u IP okruženju

Osamdesetih godina XX veka svet je ušao u novu eru komercijalnih telekomunikacija – pojavio se Internet kao prva globalna mreža koja je na jedinstven način povezala sve manje komunikacione mreže što predstavlja pravi kvalitativni skok u odnosu na sve dotadašnje sisteme. Prenos podataka između bilo koje dve tačke na Zemlji nikada do tada nije bio brži, pouzdaniji i jeftiniji.

Bez obzira na upotrebljene fizičke kanale, izvesno je da će bar u najskorijoj budućnosti TCP/IP mrežni protokoli dominirati svetom Internet-a. Kako je Internet “spona” preko koje sve mreže za prenos podataka mogu međusobno da komuniciraju, prirodno je da se i u velikom broju lokalnih LAN, MAN i WAN mreža danas takođe upotrebljava TCP/IP. Zbog toga je najpraktičnije da svi aplikacioni programi koji se projektuju za rad u takvim sistemima, a u čije funkcije spada i prenos podataka, budu projektovani u skladu sa njima. Osim toga, i u onim mrežama u kojima TCP/IP nije osnovni mrežni protokol, predviđeni su mehanizmi za efikasan i pouzdan prenos korisničkih TCP/IP paketa tako da korisnici (aplikacije) koji ih koriste nemaju nikakvih problema u radu.

Danas je zahvaljujući Internet-u prenos proizvoljne količine informacija u gotovo realnom vremenu do lokacija udaljenih i hiljadama kilometara postao rutinski zadatak. Zahvaljujući tome su tokom proteklih desetak godina gotovo brojne svetske službe, na primer svetska meteorološka i seizmološka služba, reorganizovane na globalnom nivou na taj način što se podaci sa velikog broja automatskih mernih stanica raspoređenih širom sveta prikupljaju u realnom vremenu putem određenog broja pristupnih čvorova i zatim prosleđuju do nekoliko moćnih centralnih računara u kojima se vrši njihova obrada. Oni su u stanju da na osnovu mernih podataka i odgovarajućih globalnih modela (klime, magnetosfere, litosfere itd), daju predviđanja budućih događaja u odgovarajućim oblastima sa pouzdanošću i preciznošću koja nikada pre toga nije bila dostignuta. Osim toga, Internet je omogućio i isporučivanje ovako dobijenih podataka svim zainteresovanim korisnicima. Tako je danas svako ko ima mogućnost povezivanja sa Internet-om u prilici da uvek ima na raspolaganju najsvežije podatke o uslovima sredine na mestu na kome se nalazi, da sazna predviđanja budućih lokalnih uslova, kao i da na vreme bude upozoren ukoliko se na toj teritoriji očekuje razvoj potencijalno opasnih događaja.



Slika 3.1 - Vremenska prognoza za Niš, 28.09.'05. dobijena sa adrese: weather.yahoo.com

3.2.1 Problem poslednjeg kilometra

Poslednjih godina se u oblasti telekomunikacija, posebno u onim sferama koje su vezane za korišćenje Internet-a, sve više ističe tzv. "problem poslednjeg kilometra" (last mile problem). Pod ovim izrazom se podrazumeva problem ostvarivanja dovoljno brzog i kvalitetnog prenosa podataka između poslednjeg sistemskog (pristupnog) čvora i krajnjeg korisnika koji je posredstvom njega povezan sa lokalnom a zatim i globalnom računarskom mrežom. Naime, sistemsku infrastrukturu je u slučaju potrebe moguće relativno lako nadograditi tako da joj se proširi propusni opseg jer se tehnologije koje to omogućavaju stalno usavršavaju i time nude mogućnost da pružaoci komunikacionih usluga uvek budu bar jedan korak ispred stvarnih trenutnih potreba svojih mreža. Cene sistemskih komponenta poput vodova, rutera i namenskih servera danas više nisu izrazito visoke, ove komponente su relativno malobrojne i često se projektuju tako da budu višenamenske i da efikasno rade u režimu velikog opterećenja, tako da se finansijska ulaganja u njihovo osavremenjavanje vrlo brzo isplate. Zbog toga se sve telekomunikacione kompanije koje žele da održe korak sa tržištem po pravilu lako odlučuju za poboljšavanje svoje mrežne infrastrukture. Jednom rečju, sistemska infrastruktura danas više nije kritična karika u komunikacionom lancu.

Za razliku od toga, korisnička ("pristupna") mreža se sastoji od jako velikog broja komunikacionih kanala i terminalnih uređaja (tj. modema) relativno malog propusnog opsega. Iako ni cene korisničke opreme nisu visoke, svako ovakvo pojedinačno ulaganje treba pomnožiti brojem krajnjih korisnika. Poznata je činjenica da se privatni korisnik teško odlučuje na osavremenjavanje svoje opreme čak i kada mu taj korak može omogućiti korišćenje nekih novih usluga i kada je odnos kvalitet/cena nove opreme veći nego kod stare (po pravilu jeste). Zbog toga se pred kompanije koje se bave pružanjem telekomunikacionih usluga postavlja problem: kako obezbediti zadovoljavajuće brz i kvalitetan prenos podataka duž "poslednjeg kilometra" na putu do krajnjeg korisnika.

Sve veći broj proizvođača telekomunikacione opreme se bavi rešavanjem opisanog problema. Pošto se korisnici teško odlučuju na promenu svoje pristupne tehnologije, pokušava se na različite načine da se u što je moguće većem stepenu iskoristi postojeća hardverska pristupna infrastruktura, a da se brži prenos podataka omogući reorganizacijom onih strukturnih elemenata koji odgovaraju određenim višim OSI referentnim nivoima. Tako je, na primer, novom organizacijom Kanala_podataka u GSM mrežama omogućan brži paketni prenos podataka i ta tehnologija je označena kao GPRS. Promenom vrste modulacije u GPRS sistemima je naknadno omogućen još brži prenos, a standard je nazvan EDGE. Slični postupci se primenjuju i kada su u pitanju fiksni i ne-celularni bežični sistemi.

Kada se trenutna situacija posmatra sa aspekta projektovanja nekog određenog telekomunikacionog sistema, npr. meteorološkog mernog sistema koji po obimu odgovara sistemu Miloš 200 koji je opisan u prvom poglavlju ovog rada, može se zaključiti da već danas postoji nekoliko u praksi proverenih tehnologija na osnovu kojih se može realizovati efikasan, pouzdan i ekonomičan sistem. Trenutno je u ovom smislu najekonomičnija tehnologija GPRS, a u najskorijoj budućnosti će to najverovatnije biti neki od UMTS (3G) sistema.

Na narednim stranicama će biti predloženo nekoliko osnovnih principa kojima se treba rukovoditi prilikom projektovanja ovakvih i sličnih sistema.

3.2.2 Prenos podataka putem Internet-a

Savremena tehnologija pruža jako mnogo mogućnosti za rešavanje problema radio prenosa podataka između dve tačke. U ovom odeljku će biti navedena tri uobičajena načina za prenos mernih podataka sa proizvoljno udaljene merne stanice do izabrane ciljne lokacije:

- 1) **Komunikacija kratkim porukama (SMS, MMS...)** predstavlja najjednostavniji i najrobustniji ali i najskuplji vid komunikacije u savremenim bežičnim sistemima. Naime, ovi servisi se od strane pružaoca telekomunikacionih usluga još uvek, i to pre svega iz finansijskih razloga, posmatraju kao vid komunikacije koji je sasvim izdvojen od "uobičajene" Internet-komunikacije, iako se sve ovakve poruke po pravilu najvećim delom ukupne trase takođe prenose Internet komunikacionim kanalima. Tarifiranje u smislu cene prenosa po jednom bitu podataka je gotovo uvek nesrazmerno visoko u odnosu na ostale načine prenosa, tako da se korišćenje ovih servisa može preporučiti samo u najkritičnijim ili najhitnijim situacijama. Specifičnost komunikacije kratkim porukama je potreba da i predajnik i prijemnik budu opremljeni terminalima kojima pristupaju mobilnoj mreži (tj. GPRS modemima ili GSM primopredajnicima).
- 2) **Komunikacija e-mail porukama** predstavlja takođe vrlo siguran način za prenos proizvoljne količine podataka jer obezbeđuje visoku pouzdanost, omogućava visoku bezbednost ukoliko je potrebno da podaci budu kriptografski zaštićeni, i ne pretpostavlja komunikaciju u realnom vremenu, već se prosledena poruka čuva na serveru lokalne mreže primaoca poruke proizvoljno dugo, sve dok on ne odluči da je prihvati. Mana e-mail servisa je potreba za velikom količinom dodatnih podataka koji formiraju jednu e-mail poruku, što može da bude značajno finansijsko opterećenje za sistem u celini (pružaoci Internet usluga naplaćuju ukupno ostvareni prenos podataka bez obzira na to da li su oni po prirodi sistemski ili korisnički). Razlika u odnosu na komunikaciju SMS i MMS porukama je u tome što u ovom slučaju "prijemnik" ne mora da bude registrovani i aktivni mobilni korisnik, već je to najčešće aplikativni program koji se izvršava na centralnom računaru koji poseduje povremenu ili permanentnu vezu sa Internet-om, koja ne mora da bude bežičnog tipa.
- 3) **Direktna komunikacija nekim ppp protokolom** (Point-to-Point Protocol - protokol za prenos podataka od tačke do tačke TCP/IP paketima). Postoji veliki broj standardnih komercijalnih programa koji vrše komunikaciju putem Internet-a na ovaj način (npr. svi Browser programi), a moguće je bez velikih vremenskih i stručnih ulaganja napraviti i sopstvenu aplikaciju (ili čak protokol na OSI aplikacionom nivou) koja će prenositi željene podatke. IP adresa korespondenta je zadata od strane sistemskih i lokalnih Internet struktura, dok je izbor softverskog TCP porta preko koga će podaci biti prenošeni proizvoljan. Prednost ovakve komunikacije se ogleda u manjem opterećenju poruka sistemskim bitovima, dok su mane: neophodnost istovremenog rada oba komunikaciona čvora (setimo se da se IP paketi koji nisu isporučeni posle vrlo kratkog vremena uništavaju - videti odeljak 2.1.2.1) i znatno veća mogućnost neovlašćenog upada u sistem od strane trećih lica. Zbog toga je u ovom slučaju neophodno da se tokom projektovanja obrati pažnja na obezbeđivanje bezbednosti sistema u celini.

Treba primetiti da u slučaju bilo kog od tri opisana načina komunikacije udaljenost između predajnih i prijemnih čvorova ne igra nikakvu ulogu (osim donekle u prvom slučaju) jer se oni mogu nalaziti na teritorijama koje su pokrivene potpuno nezavisnim lokalnim bežičnim ili zemaljskim računarskim mrežama. Jedini nepohodan uslov je da teritorija na kojoj se nalaze bude pokrivena mobilnom telefonskom mrežom, ili da na njoj bude omogućeno povezivanje sa Internet-om na proizvoljan način.

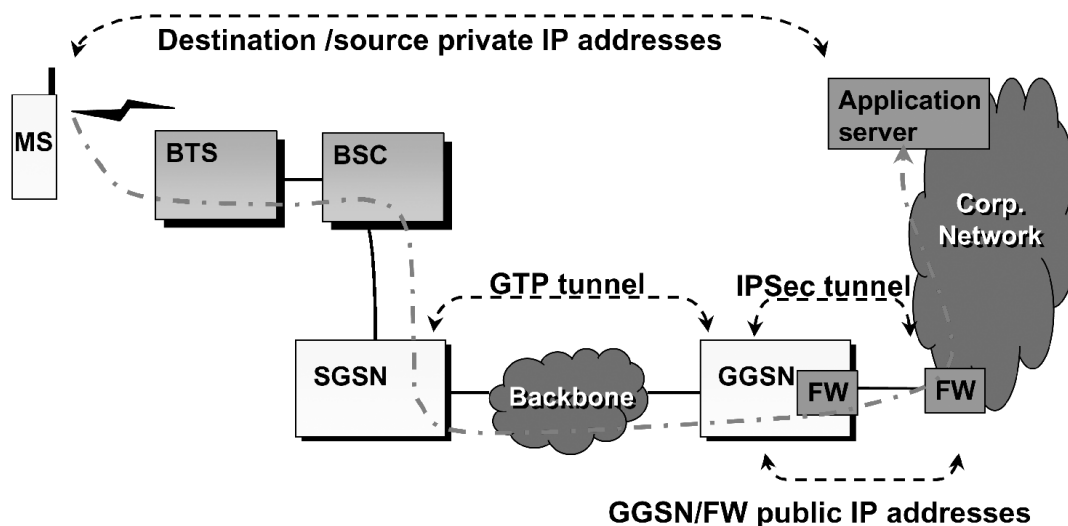
U naredna dva odeljka će biti ukratko opisana i dva specifična vida organizovanja savremenih mernih sistema: formiranjem VPN mreža i putem malih bežičnih LAN mreža.

3.2.3 Organizacija privatnih mreža uz pomoć GPRS-a

U odeljku 2.1.2 je u kraćim crtama opisana osnovna komunikacija u Internet okruženju. Prenos korisničkih podataka u GPRS mrežama je nešto složeniji u odnosu na tu osnovnu sliku jer se u njima mora obratiti pažnja i na obezbeđivanje pune mobilnosti celularnih korisnika, kao i na adekvatno tarifiranje njihovog saobraćaja. Rešenje koje je usvojeno za GPRS sisteme se bazira na formiranju tzv. internih tunela podataka (tunnels) kojima se korisnički podaci prenose kroz sistemski deo mreže od krajnjeg korisnika do odlaznog GPRS čvorišta (BG - Boarder Gateway) ka susednim podmrežama u sastavu Internet-a, i obratno. Formiranje ovih tunela je propisano standardom GTP (GPRS Tunneling Protocol – GPRS tunel protokol), koji predviđa enkapsulaciju svih paketa iz OSI Nivoa mreže, nezavisno od protokola prema kojima su formirani, u GTP pakete. Ovaj način prenosa istovremeno olakšava rutiranje korisničkih paketa kroz celularnu mrežu i povišava nivo sigurnosti. Tarifiranje se vrši u skladu sa tarifnim paketom iz korisničkog ugovora, a na osnovu podataka koji se dobijaju putem evidencionih baza podataka.

GPRS mreže su projektovane tako da omoguće organizovanje velikog broja međusobno potpuno nezavisnih zatvorenih logičkih podmreža, od kojih svaka može da ima proizvoljnu namenu i vlasnika. Ovakve mreže se u stručnoj terminologiji označavaju skraćenicom VPN (Virtual Private Network – virtualne privatne mreže), i po pravilu su u vlasništvu (privatnih) kompanija i organizacija. One omogućavaju razmenu podataka između dva ili više korisnika unutar iste VPN mreže upotrebom standardnih aplikacionih programa. Pojedinačni VPN korisnici imaju tada identične mogućnosti kao kada su neposredno povezani sa matičnom mrežom svoje kompanije. U zavisnosti od potreba kompanije, moguće je od pružaoca GPRS usluga zahtevati povišeni nivo sigurnosti prenosa podataka (secure tunnels – sigurni tuneli), i/ili se sigurnost može obezbediti na nivou aplikacionih programa koji se koriste za međusobnu komunikaciju korisnika, kao i namenskih zaština tzv. Firewall programa.

Na narednoj slici je prikazan tipičan put kojim se prenose paketi VPN korisnika kroz GPRS mrežu.



Slika 3.2 - Prenos korisničkih podataka u okviru GPRS mreže

Formiranje VPN mreže može da bude isplativo u situacijama kada je potrebno obezbediti visok nivo interaktivnosti u međusobnoj komunikaciji između većeg broja korisnika. Međutim, u slučaju jednostavne merne službe poput sistema Miloš 200, ovo može da bude nepotrebno obimno i skupo rešenje. Naime, u ovom slučaju se zahteva prenos relativno male količine podataka sa nekoliko udaljenih do jedne čvorne lokacije, pri čemu komunikacija nije interaktivna. Zbog toga se podaci do odredišta mogu prenositi i nekim od jednostavnijih metoda.

3.2.4. Lokalni i hijerarhijski organizovani merni sistemi

Minijaturizacija elektronskih komponenata i sklopova danas dozvoljava formiranje malih lokalnih bežičnih mernih mreža po izuzetno niskoj ceni, pri čemu njihove performanse u smislu količine i kvaliteta prikupljenih podataka mogu da budu vrlo visoke. Dva odlučujuća faktora koja to dozvoljavaju su:

- 1) postojanje tzv. inteligentnih senzora, koji predstavljaju minijaturne celine u kojima su integrisani merni senzori i mikroprocesorski mikrokontroleri čiji je zadatak početna obrada analognih mernih podataka (linearizacija, kalibracija itd) i njihova konverzija u digitalni oblik koji je pogodan za prenos do željene centralne lokacije;
- 2) postojanje pouzdanih i efikasnih tehnika digitalne modulacije koje dozvoljavaju formiranje višekorisničkih (multipoint) sistema uz minimalno zauzimanje radio-spektra, a istovremeno se primopredajne funkcije mogu realizovati minijaturnim, po nekad čak monolitnim (na jednom silicijumskom čipu) komponentama.

Prednosti inteligentnih nad "običnim" sensorima se ogledaju u znatno većoj i lakšoj kontroli ponašanja senzora u konkretnim uslovima. Na primer, moguće je izvršiti softversko podešavanje njihove linearnosti u mernom opsegu koji je od interesa, podešavanje dinamičkog mernog opsega, podešavanje bitske rezolucije kojom se vrši merenje, učestanosti merenja, kao i zadavanje kritičnih vrednosti tako da senzor u slučaju njihovog dostizanja automatski alarmira centralno nadzorno mesto (prekoračenje maksimalne temperature, pritiska i sl).

Iskustva koja su stečena na osnovu analize rada digitalnih mobilnih telekomunikacionih sistema i lokalnih računarskih mreža su iskorišćena za osmišljavanje efikasnih modulacionih tehnika, tako da je moguće organizovanje pouzdane lokalne mreže senzora koja ne ometa rad ostalih radio - sistema na istoj teritoriji jer za svoj rad zahteva vrlo uzak frekventni opseg a snage zračenja predajnika su izuzetno male, po pravilu manje od 30mW. Veliki broj ovakvih lokalnih mernih mreža može da funkcioniše u neposrednoj međusobnoj blizini ili čak na istoj teritoriji bez ikakvih štetnih interakcija. Teritorije koje mogu da budu pokrivene lokalnim mrežama senzora su reda veličine stotinak metara u prečniku, što je dovoljno za kontrolu brojnih parametara u okviru pojedinačnih stambenih objekata, javnih ustanova, preduzeća i sl.

Osnovna ideja koja stoji iza formiranja ovakvih mreža je raspodeljivanje ukupne obrade mernih signala na nekoliko hijerarhijskih nivoa. Tako se digitalizacija i primarna obrada signala vrši još na samom mestu gde se obavlja merenje (tj. u inteligentnim sensorima), a obrada višeg nivoa se obavlja u centralnom računaru u lokalnom kontrolnom centru. U zavisnosti od prirode merenja koja se obavljaju, signali koji su prikupljeni u centralnom računaru lokalne mreže senzora mogu da budu dalje prosleđeni (najčešće putem Internet-a) do udaljenih lokacija na kojima se nad delimično obrađenim podacima koji su prikupljeni iz velikog broja pojedinačnih lokalnih mernih mreža mogu primenjivati znatno kompleksnije analize i vršiti nadgledajne važnih parametara na nivou čitavih gradova ili država.

Hijerarhijski način obrade podataka omogućava znatno rasterećivanje prenosnih kanala na taj način što se podaci ne prenose u izvornom obliku, za šta je po pravilu potreban srazmerno veliki propusni opseg, već se nad njima od samog početka primenjuje neki vid kompresije. Inteligentni senzori se, na primer, mogu konfigurisati tako da ne šalju podatke neprekidno, već samo u slučaju da dođe do promene vrednosti merene veličine preko zadatog praga. Pravilnim izborom rezolucije i učestanosti kojom se obavljaju merenja na svakom pojedinačnom mernom mestu sprečava se nepotrebno opterećivanje propusnog opsega lokalne mreže. Prostorna gustina raspodele ovakvih senzora koji "štede" propusni opseg može da bude znatno veća od uobičajenih. Delimičnom obradom podataka u centralnom računaru lokalne mreže mogu se izdvojiti najvažniji podaci, tako da samo oni budu dalje prosleđeni do centralnog računara višeg nivoa, čime se dodatno smanjuje i opterećenje prenosnih kanala velikog dometa.

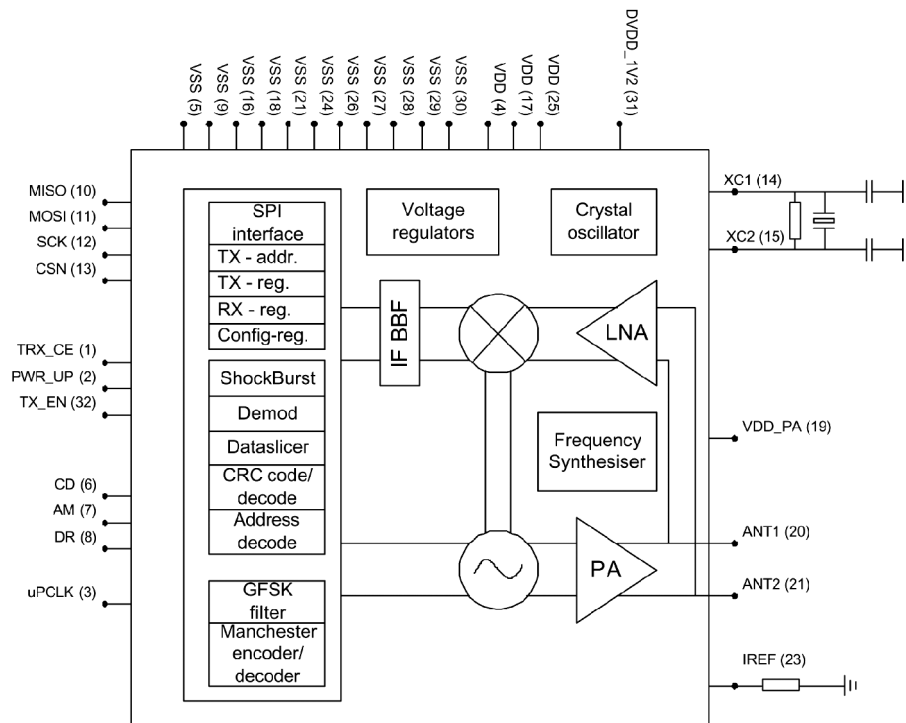
Hijerarhijsko procesiranje podataka je značajno i sa aspekata povećanja brzine reagovanja kontrolnih sistema. Naime, u centralni računar lokalne mreže može da bude ugrađen određeni stepen veštačke inteligencije tako da objedinjenom analizom svih lokalno prikupljenih podataka on može da bude u stanju da prepozna značajne ili potencijalno opasne situacije, koje inače ne bi mogle da budu uočene jednostavnim praćenjem pojedinačnih mernih veličina, ili bi u udaljenom centralnom računaru bile detektovane prekasno. Lokalni centralni računar tada može bez kašnjenja da alarmira odgovarajuće stručne službe ili da pokrene izvršavanje procedura kojima se sistem koji je predmet posmatranja uvodi u stabilno stanje.

Na osnovu nekoliko prethodnih zapažanja je jasno da formiranje malih lokalnih mreža senzora ne samo da omogućava jednostavno nadgledanje rada malih sistema na lokalnoj teritoriji, već može da bude i značajan korak ka ostvarivanju velikih mernih sistema. Podelom teritorije velikih sistema na manje celine povećava se gustina prostorne raspodele mernih senzora, omogućava se lakša koordinacija rada sistema kao celine, a takođe je znatno olakšano dodavanje novih lokalnih sistema ili promena konfiguracije postojećih, kao i vršenje svih neophodnih intervencija na njima bez remećenja funkcija sistema višeg nivoa.

U narednom odeljku će sa nešto više detalja biti opisana dva radio-telemetrijska modula proizvođača Nordic Semiconductor koja mogu da predstavljaju osnovu za realizaciju efikasnih lokalnih mernih sistema po vrlo niskoj ceni.

3.2.4.1 Merni moduli kompanije Nordic Semiconductor

Najpre će biti opisana struktura primopredajnog modula (tj. mikročipa) nRF905, koji predstavlja monolitni integrisani GMSK primopredajnik čije se funkcije kontrolišu softverski. Primopredajnu jedinicu čine nRF905 i jedan mikrokontroler. Za prenos podataka je izabrana GMSK modulacija, poput one u GSM sistemima, jer se njenom upotrebom postiže relativno dobro iskorišćenje radio-kanala uz gotovo potpuno eliminisanje međukanalne interferencije, a istovremeno prijemni i predajni moduli mogu da budu relativno jednostavne strukture, velike osetljivosti i energetske efikasni. Na narednoj slici je prikazana interna struktura čipa nRF905:



Slika 3.3 - Interna struktura GMSK primopredajnog modula nRF905

Može se primetiti da je čip funkcionalno podeljen na dve celine: digitalnu (logičku) i analognu (primopredajnu).

Analogne podsklopove čine:

- 1) naponski regulatori – čip se napaja neregulisanim naponom između 1.9V i 3.6V
- 2) referentni kristalni oscilator, koji može da radi na jednoj od pet precizno definisanih učestanosti: 4MHz, 8MHz, 12MHz, 16MHz ili 20MHz
- 3) softverski upravljani PLL frekventni sintezator
- 4) mešač i međufrekventni pojačavač
- 5) niskošumni ulazni pojačavač (LNA) osetljivosti -100dBm (pri $BER_{min}=0.1\%$)
- 6) izlazni pojačavač (PA) maksimalne snage 10mW.

Digitalni podsistem je na slici 3.3 prikazan u skladu sa OSI referentnom podelom funkcija, koja je objašnjena u odeljku 2.1.1. ovog rada.

Fizički nivo. Dve hijerarhijski (i na dijagramu) najniže funkcije, GMSK filter i Manchester koder/dekoder, odgovaraju Fizičkom nivou prenosnog sistema.

GMSK (Gauss-ov) filter je sastavni deo svakog GMSK koda, kao što je objašnjeno u odeljku 2.2.1.1.

Brzina modulacije u ovom sistemu je 100kBps a brzina prenosa podataka iznosi 50kBps jer je kao oblik kanalnog kodiranja primenjeno tzv. Manchester kodiranje kod koga se svaki bit predstavlja kombinacijom dva tzv. chip-bita koji mogu da budu “01” ili “10”, tako da je za prenos svakog bita podataka potrebno emitovati po dva chip-bita Manchester koda – ovaj kod obezbeđuje da u svakom bitskom periodu postoji najmanje jedan prelaz između signalnih nivoa čime je omogućeno jednostavno i pouzdano ekstrakovanje bitskog takta iz primljenog signala neophodnog za sinhronizaciju prijemnika. Ovom jednostavnom tehnikom se može sprečiti loša sinhronizacija prijemnika sa predajnikom i tako donekle smanjiti procenat pogrešno prenetih bitova. Na samom čipu je kao posebna celina realizovan hardverski Manchester koder/dekoder.

Kanal podataka. Sledećih pet hijerarhijski viših funkcija čine celinu koja odgovara nivou Kanal podataka OSI modela.

Kao metod za detekciju grešaka je primenjena CRC provera (Cyclic Redundancy Check – ciklična provera greške) koja predstavlja gotovo potpuno pouzdan metod za detektovanje grešaka u proizvoljno dugom nizu bitova. CRC kodiranje se vrši tako što se celokupni niz bitova koji treba preneti posmatra kao višecifreni binarni broj (ili polinom) nad kojim se izvrši operacija deljenja po unapred izabranom modulu. Ostatak deljenja se zatim nadovezuje na originalnu poruku i prenosi zajedno sa njom. Po prijemu cele poruke, prijemnik ponovo izračunava CRC ostatak i upoređuje ga sa onim koji je dodat poruci u CRC koderu predajnika. Operacija “deljenje po modulu” ima osobinu da vrednost ostatka podjednako i znatno zavisi od svih bitova izvorne poruke, tako da ukoliko je makar jedan od izvornih bitova pogrešno primljen, velika je verovatnoća da CRC suma koju je izračunao prijemnik neće biti ista kao ona koja je dodata poruci na mestu predaje. Na zalost, upotrebom CRC metoda nije moguće otkrivanje pozicija i automatsko korigovanje pogrešno primljenih bitova. Zbog toga, ukoliko dođe do greške u prenosu, automatski se zahteva ponovni prenos poslednjeg paketa podataka. Greške su dovoljno retke, a propusni opsezi lokalnih mreža dovoljno široki, tako da ove ponovljene poruke ne ometaju rad sistema u celini. CRC podsistem je hardverski realizovan na nRF905 čipu.

Demodulator vrši demodulaciju simbola iz prijemnog signala u niz bitova koje prosleđuje do Data_slicer-a (“rastavljač podataka”), koji ima ulogu da iz primljenih paketa izdvoji kontrolne i signalne podatke od onih koji nose korisne informacije. Adresni dekoder proverava adresu koju je Data_slicer izdvojio iz primljenog paketa i u slučaju da je primljena sopstvena adresa, putem namenske linije aktivira svoj mikrokontroler koji zatim pokreće odgovarajuće procedure.

ShockBurst™ podsistem ostvaruje funkcije TDMA raspodele sistemskih resursa (tj. propusnog opsega radio-kanala) na taj način što upravlja predajom i prijemom kratkih paketa podataka koji se prenose relativno velikom bitskom brzinom. ShockBurst™ tehnologija omogućava rad velikog broja senzora u okviru istog radio-kanala i istovremeno dovodi do uštede energije iz baterija kojima se senzori napajaju tako što svaki predajnik biva aktivan tokom relativno malog procenta ukupnog vremena eksploatacije senzora. U suprotnom, ukoliko bi se merni podaci prenosili malom brzinom, bilo bi potrebno duže vreme za njihovo emitovanje i samim tim bi baterije bile srazmerno brže potrošene.

Nivo mreže. Primopredajni moduli nRF905 su predviđeni za rad u okviru lokalne mreže i stoga je neophodno da omoguće sopstvenu identifikaciju u okviru takvog sistema. Zbog toga su u njih ugrađene funkcije adresiranja, pri čemu se sopstvena adresa i ciljna adresa prijemnog modula (najčešće je to primopredajni modul povezan sa centralnim računarom, ali ne nužno) upisuju u odgovarajuće registre: Rx-reg i Tx-reg, respektivno. Pored toga, u konfiguracioni registar (Config-reg) se upisuju važni kontrolni podaci koji definišu način rada modula i frekvenciju radio-kanala koji će biti korišćen tokom rada.

Konfiguracioni SPI-kompatibilni registar se sastoji od pet nezavisnih registara u kojima se čuvaju sledeći podaci:

Status_register služi za signalizaciju mikrokontroleru da li je primljena validna sopstvena adresa, odnosno da li su podaci koje treba poslati spremni za slanje.

RF_configuration_register sadrži podatke kojima se podešavaju parametri predajnika i prijemnika, npr. podaci o frekvenciji radnog kanala i izlaznoj snazi predajnika.

Tx_address čuva adresu modula kome su namenjeni podaci koji će biti emitovani

Tx_payload je sadržaj paketa podataka koje treba emitovati

Rx_payload je sadržaj paketa podataka koji je neposredno primljen.

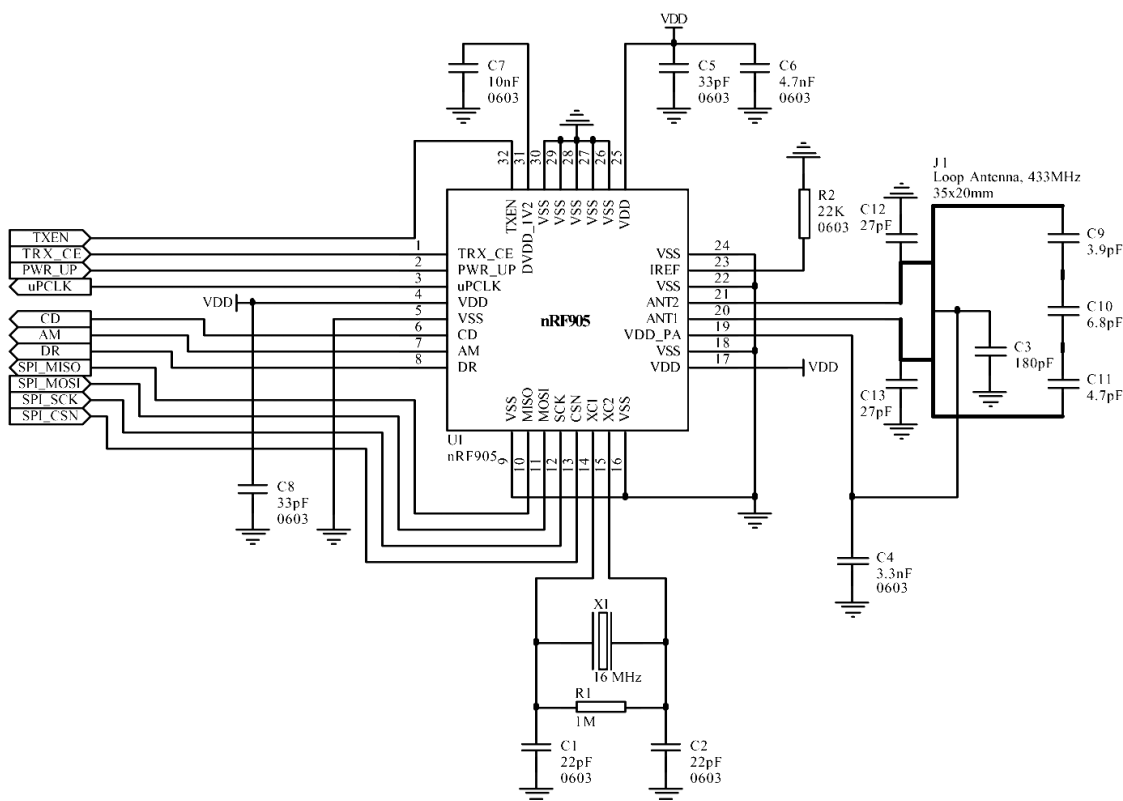
Izbor frekvencije radio-kanala se vrši upisivanjem odgovarajućih vrednosti u RF konfiguracioni registar. Moduli nRF905 mogu da rade u opsegu učestanosti u okolini 433MHz ili 868/915MHz, pri čemu razmak između radnih kanala u opsegu 433MHz iznosi 100kHz, a u opsegu 868/915MHz iznosi 200kHz. Radna učestanost se izračunava na osnovu formule:

$$f_{OP} = (422.4 + (CH_NO/10)) \cdot (1 + HFREQ_PLL) \quad [MHz] \quad [3.1]$$

gde su CH_NO i $HFREQ_PLL$ celobrojne vrednosti koje se upisuju u Config-registar.

Radna frekvencija (tj. korišćeni radio-kanal) može da se menja pre emitovanja svakog pojedinačnog paketa podataka jer se pre svake emisije mogu promeniti vrednosti dva prethodno pomenuta registra, ukoliko mikrokontroler tako zahteva. Dakle, odgovarajućim osmišljavanjem aplikacija koje se izvršavaju u mikrokontrolerima može se formirati i takav lokalni merni sistem koji će imati implementiranu funkciju sporog skakanja frekvencija (slow_FH), karakterističnu za spread-spectrum sisteme. Na taj način se mogu eliminisati određeni nepoželjni efekti prostiranja radio-talasa u urbanim sredinama (selektivni fading), a takođe se može povećati bezbednost sistema u smislu sprečavanja slučajnog ili namernog ometanja i prisluškivanja.

Na slici 3.4 na narednoj strani je prikazana električna šema kompletnog GMSK primopredajnog modula predviđenog za rad na 433MHz, baziranog na čipu nRF905, pri čemu je rezonantna loop-antena realizovana na istoj štampanoj pločici u mikro-strip tehnici. Treba primetiti da je broj okolnih pasivnih komponenata koje su neophodne za rad modula koji koriste nRF905 čipove sveden na apsolutni minimum. Nisu potrebni nikakvi posebni LC, keramički ili SAW filtri niti je potreban poseban stabilizator napajanja, pa čak i sama antena može da bude “naštampana” na pločici pertinaksa. Na ovaj način je moguće načiniti zaista minijaturne i mehanički otporne primopredajne module vrlo visokih performansi.



Slika 3.4 - GMSK merni modul sa nRF905 predviđen za rad na 433MHz

Velika pažnja tokom projektovanja nRF905 (i sličnih čipova iz iste familije) je posvećena štednji baterija iz kojih se oni napajaju energijom. Već je objašnjeno na koji način ShockBurst™ tehnologija dovodi do uštede energije. Osim toga, ovi čipovi se odlikuju niskom potrošnjom u stand-by stanju, tj. kada pasivno prate komunikaciju na izabranom radio-kanalu, očekujući nailazak sopstvene adrese. Prijemnik nRF905 troši 12.5mA struje iz baterije kada se zahteva maksimalna osetljivost od -100dBm, ali se ona može smanjiti na 10.5mA ukoliko je dovoljna osetljivost od -85dBm – tada je isključen LNA prepojačavač koji zbog svoje prirode ne može da bude mali potrošač (tranzistori ostvaruju minimalni faktor šuma i maksimalnu otpornost na štetne intermodulacione produkte pri tačno definisanim kolektorskim strujama ili strujama drejna koje su najčešće reda veličine $3 \div 10\text{mA}$).

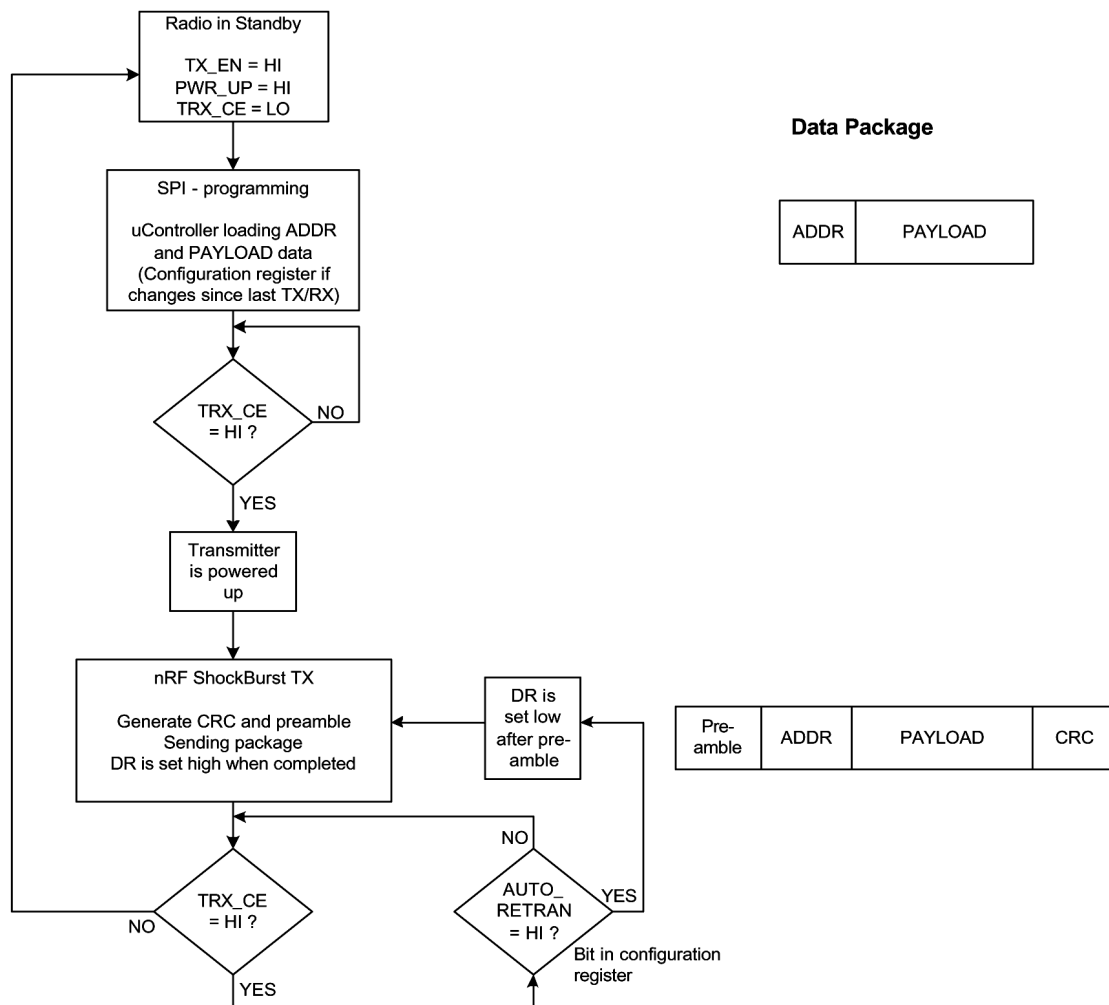
Kada su unapred poznati vremenski intervali tokom kojih može da se očekuje nailazak sopstvene adrese modula, ShockBurst™ dozvoljava da tokom neaktivnih perioda prijemni podsistem ovog čipa bude potpuno isključen od strane mikrokontrolera. U tom tzv. Power-down modu nRF905 troši zanemarljivih 2.5μA. Pri tom je vreme aktiviranja (“buđenja”) izuzetno kratko tako da se performanse modula, i samim tim sistema u celini, ni malo ne narušavaju.

Snagu predajnika je moguće podešavati zadavanjem vrednosti dva za to predviđena bita u konfiguracionom registru u skladu sa sledećom tabelom:

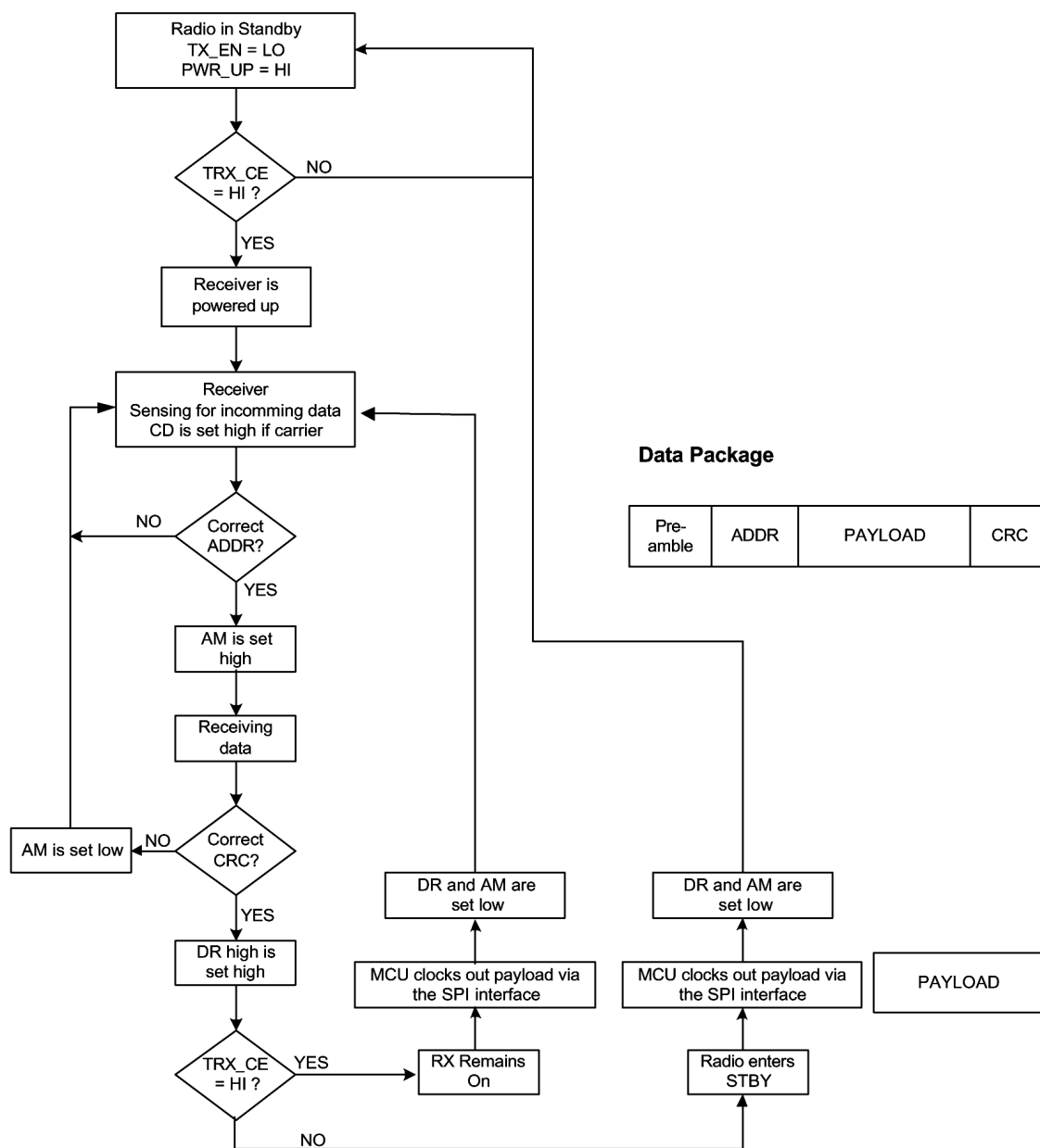
Kontrolni bitovi	Izlazna snaga predajnika	Potrošnja struje iz baterije
00	-10dBm	9mA
01	-2dBm	14mA
10	6dBm	20mA
11	10dBm	30mA

Na ukupnu potrošnju primopredajniog modula tokom određenog dužeg vremenskog perioda vrlo primetan uticaj može da ima izbor frekvencije referentnog kvarcnog oscilatora. Niža referentna frekvencija dovodi do manje potrošnje. Tako potrošnja u stand-by režimu iznosi 12 μ A ukoliko je referentna frekvencija 4MHz, odnosno 46 μ A ukoliko je ona 20MHz. Obzirom na činjenicu da ovakvi moduli po pravilu najveći deo vremena provode upravo u ovom režimu, minimizacija potrošnje u njemu je važna. Čip nRF905 može da prenosi referentni klok-signal mikrokontroleru, ali tada treba računati sa dodatno većom potrošnjom u stand-by režimu, koja najviše zavisi od kapacitivnosti optećenja ulaznog pina mikrokontrolera preko koga se prenosi klok-signal. U power-down modu je referentni kvarcni oscilator nRF905 čipa zaustavljen. Dakle, da bi ovaj režim rada mogao da se koristi, mikrokontroler mora da ima svoj nezavisni referentni kvarcni oscilator.

Kako bi način rada ovih modula bio donekle jasniji, ovde će biti prikazana dva tipična dijagrama toka algoritama koji se izvršavaju prilikom predaje odnosno prijema podataka u skladu sa ShockBurst™ tehnologijom:



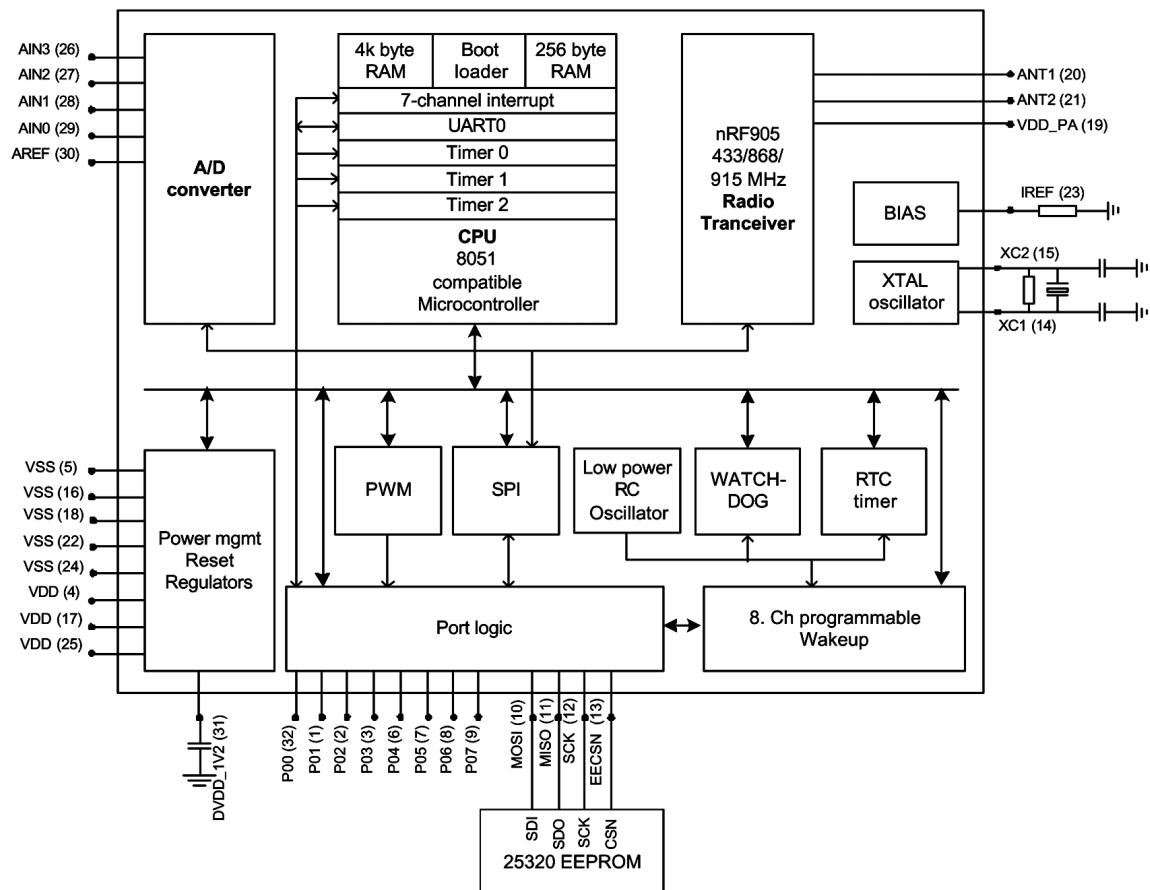
Slika 3.5 - Dijagram toka algoritma za predaju paketa po ShockBurst™ standardu



Slika 3.6 - Dijagram toka algoritma za prijem paketa po ShockBurst™ standardu

Na osnovu do sada prikazanih podataka se može zaključiti da je upotrebom GMSK primopredajnih modula koji su bazirani na nRF905 čipovima moguće realizovati efikasan i štedljiv lokalni merni sistem, i u smislu cene uređaja i u smislu potrebnih energetske i radio-resursa. Treba takođe pomenuti da ova serija poluprovodničkih komponenata omogućava jednostavno ostvarivanje i nekih drugačijih radio-sistema malog dometa. Tako je, na primer, moguće realizovati relativno jednostavan ali istovremeno moćan, stabilan i otporan telekomandni sistem jer se podaci kroz ovakve lokalne mreže mogu prenositi u oba smera. Osim toga, brzina modulacije je dovoljno visoka da bi kroz sistem mogle da se prenose i druge vrste podataka osim mernih. Na primer, ukoliko se na ulaz A/D konvertora sa koga se digitalni podaci vode do mikrokontrolera umesto signala sa proizvoljnog analognog senzora dovede signal sa mikrofona, i istovremeno omogućiti D/A konverziju na izlazu istog mikrokontrolera, u prilici smo da načinimo bežični interfonski sistem za dvosmernu komunikaciju glasom...

Osim osnovnih primopredajnih čipova tipa nRF905 i sličnih, u ponudi kompanije Nordic Semiconductor se nalaze i takve monolitne komponente koje predstavljaju kombinaciju primopredajnika i mikrokontrolera. Na primer, čip nRF9E5 predstavlja kombinaciju opisanog GMSK primopredajnika nRF905 i mikrokontrolera kompatibilnog sa poznatom serijom 8051. Ovakva objedinjena komponenta dodatno pojednostavljuje proces projektovanja mernih modula čime se istovremeno štedi projektantsko vreme i smanjuje mogućnost nastajanja greške u projektovanju, budući da je interfejs između mikrokontrolera i primopredajnika hardverski realizovan. Mikrokontroler tipa 8051 je dovoljno moćan za najveći broj primena u kojima bi moduli tipa nRF905 mogli da pokazuju dobre radne karakteristike, tako da je korišćenje nRF9E5 po pravilu ekonomičnije i jednostavnije rešenje u odnosu na kombinaciju nRF905 i proizvoljnog posebnog mikrokontrolera. Na slici 3.7. je prikazana interna struktura čipa nRF9E5:



Slika 3.7 - Interna struktura kombinovanog primopredajnog modula i mikrokontrolera nRF9E5

Svi podaci koji su do sada navedeni za nRF905 važe i u slučaju nRF9E5. Osim digitalnih ulazno - izlaznih pinova (P01 ÷ P07), čip poseduje i četiri analogna ulaza (A0 ÷ A3) na kojima se vrši uzorkovanje četiri nezavisna analogna signala rezolucijom od 10 bitova i učestanošću 80kHz. Rezolucija diskretizovanja analognih signala se po potrebi može softverski podešavati u opsegu od 6 do 12 bitova po odmerku.

Komponenta nRF9E5 sa integrisanim mikrokontrolerom ima daleko veće mogućnosti u odnosu na osnovni primopredajni čip, tako da se može efikasnije koristiti npr. u sistemima gde je potrebno podržati FH način rada, u alarmnim, kontrolnim i nadzornim sistemima itd. U vreme pisanja ovog rada, na Elektronskom fakultetu u Nišu je u toku izrada projekta koji ima za cilj definisanje modela mernih sistema koji bi koristili čipove iz serija nRF905 i nRF9E5.

Zaključak

U ovom radu je načinjen pokušaj da se problem prenosa mernih podataka prikaže na relativno uopšteni način, kroz analizu nekoliko karakterističnih primera takvih sistema, pri čemu je razvoj tehnologije prikazan hronološki.

Kako bi se ispravno sagledao značaj određenih tehnoloških i arhitekturnih detalja modernih mernih sistema, u prvom poglavlju su prikazani izgled i mogućnosti nešto starijeg automatskog meteorološkog sistema "Miloš 200", konstruisanog krajem osamdesetih godina XX veka. Pri tom je ukazano na neke od teškoća sa kojima su se konstruktori ovakvih ranih sistema sretali tokom njihovog projektovanja i implementacije na terenu.

Zatim je u drugom poglavlju predstavljeno nekoliko velikih savremenih bežičnih telekomunikacionih tehnologija kod kojih je najveći broj sličnih problema vrlo efikasno rešen i objašnjeni su načini na koje prenos mernih i drugih korisničkih podataka može da bude organizovan u okviru takvih sistema.

U poslednjem poglavlju su pomenuta neka od najkarakterističnijih kretanja na polju savremenih digitalnih (računarskih) telekomunikacija, prikazani su izvesni novi pogledi na organizaciju mernih mreža i objašnjen je njihov značaj kako sa aspekta projektanta, tako i sa aspekta krajnjih korisnika. Sa nešto više detalja je prikazana nova tehnologija malih lokalnih mernih sistema koja je svojim funkcionalnim svojstvima u najvećoj meri prilagođena ovim novim kretanjima, kao i specifičnim zahtevima savremenog tržišta.

Uzevši u obzir sve što je do sada izloženo u ovom radu, može se primetiti da se brzina razvoja telekomunikacione i informatičke tehnologije (u anglosaksonskom govornom području postoji objedinjeni naziv - IT technologies) neprestano povećava. Zapravo, ove promene su danas takve da ne samo da je tehnologija u stanju da gotovo potpuno zadovolji trenutne potrebe savremene civilizacije, već vrši i sve direktniji uticaj na njen razvoj na globalnom nivou. Informacioni sistemi danas predstavljaju tehnološku osnovu na kojoj se ubrzano razvija tzv. "informaciono društvo", civilizacija koja ne zavisi toliko od posedovanja materijalnih sirovina i industrijskih pogona za njihovu preradu u proizvode, koliko od posedovanja i pronalaženja važnih *informacija* i sposobnosti za produkciju kvalitetnog *znanja*. Naravno da pri tom napredak IT tehnologija nije sam sebi cilj, već razlog za njihovo intenzivno razvijanje leži u tome što sve grane industrije i svi privatni korisnici imaju vrlo velike koristi od njihovog napretka.

Ukoliko bacimo krajnje uopšteni pogled na pravce razvoja današnjih IT tehnologija, možemo da izdvojimo dva glavna toka: prvi je razvoj personalizovanih širokopojasnih komunikacija, koji je najvažniji pre svega sa aspekta privatnih korisnika i uobičajeno se naziva područjem "zabavnih tehnologija", dok je drugi - razvoj telemetrijskih i telekomandnih sistema i sistema automatskog upravljanja, koji je znatno važniji sa aspekta privrede, saobraćaja i organizacije rada velikih nacionalnih sistema poput zdravstva, sistema bezbednosti itd. Nivo razvoja današnje tehnologije je takav da je uz srazmerno vrlo mala ulaganja moguće ostvariti ogromne dobitke u smislu povećanja kvaliteta rada najrazličitijih sistema i kvaliteta usluga koje se nude krajnjim korisnicima. Ukoliko smo uz to svesni velikih promena koje će gotovo izvesno nastupiti u celom svetu već tokom prve polovine XXI veka (promena klime, intenzivni razvoj saobraćaja, reorganizacija svetske privrede itd) postaće jasno da je modernizacija postojećih i formiranje novih mernih i drugih informacionih sistema pre neophodnost nego pitanje slobodne volje pojedinih državnih i regionalnih administracija.

Obzirom na mogućnosti i pristupačnost današnje informacione tehnologije, odluka da li ćemo se uključiti u savremene tokove kretanja industrije i nauke nije nešto što je značajno uslovljeno trenutnim položajem pojedinca, kompanije ili države - izbor je na nama samima.

Indeks pojmova

A

Antena 14, 15
Antensko kolo 7

B

Bazna stanica 27, 31, 33, 37, 40 - 43
Bipolarni tranzistor 8, 10

C

CDMA prenos 27, 38, 40
cdma2000 38
Chip-bit 38, 51

D

DECT+ 38
Dioda, PIN 7
Dioda, varicap 4
Diplexer 8
Direktna FM modulacija 4

E

EDGE 35, 46

F

Faktor šuma 8, 9, 53
Fazna modulacija, PM 36
FD-TDMA 38
Filtar, uskopojasni 39
FM predajnik 3, 4, 7, 10
FM prijemnik 3, 11
Frekventna modulacija, FM 4, 29
FSK modulacija 29

G

2G mobilni sistem 27, 33
3G mobilni sistem 33, 38, 40, 46
GaAs JFET tranzistor 8
Gauss-ov filter 29, 30, 51
Generator funkcija 4
Gilbert-ova množačka ćelija 9 - 11
GMSK modulacija 29, 30 - 33, 50, 52, 55, 56
GPRS 33 - 35, 46 - 48
GSM, struktura mreže 31, 32
GSM radio-interfejs 27

H

Hardverska realizacija kodera 51
Helikoidalni filter 8, 9
Hijerarhijska organizacija 17, 19, 49, 51
Handover procedura 31

I

Internet 17, 21, 22, 32, 33, 38, 42 - 48
IP protokol 22 - 24
ITM-2000 38
Izobličenje signala, harmonijsko 4, 11

J

JFET tranzistor 8

K

Komparator sa histerezisom 12
Korisnička informacija 17, 19, 25, 32 - 35, 38, 42, 45 - 48
Kvazisinusoidalni signal 4

L

LAN mreža 45, 47
Lokalni oscilator 5, 6, 10, 11
Lokalni merni sistem 49, 52, 55

M

MAN mreža 45
Manchester koder 51
Međufrekventni pojačavač 11, 51
Mešač 8, 9, 11, 51
Množačka ćelija, Gilbert-ova 9 - 11
Monolitni 4, 9, 49, 50
MOSFET tranzistor 8, 9
MSK modulacija 29, 33, 50

N

NBFM modulacija 11
Nelinearnost pojačavača 9, 10
NF, faktor šuma 8, 9, 53
Niskošumni pojačavač 51

O

OSI referentni model 17, 21, 22, 34, 44, 47, 51
Osnovni opseg signala 3, 4, 11
Ostrvo u celularnoj mreži 31

P

PIN dioda 7
PM, fazna modulacija 36
Pojačanje mešača 9
Predajnik 3, 7, 10, 15, 26, 29, 31 - 33, 37, 39, 41, 47 - 49, 51 - 53
Pretpojačavač 8, 9, 53
Prijemnik 3, 5 - 11, 13, 29, 39, 47, 51 - 53

R

Ram 27, 28, 32 - 34, 36

RS-232 3, 4, 13

S

Satelitski prenos 11, 26, 38, 42, 43

Servisna zona bazne stanice 31

Signal - šum, odnos 9, 11

Signalizacija 17, 25, 32

Solarni avion 43

Spektralna gustina snage signala 29, 39

Stabilnost frekvencije oscilatora 4, 5, 8

Š

Širokopojasni signal 35, 36, 42

Šum pojačavača 8, 9, 13, 16, 51, 53

T

TCP protokol 20, 21, 24, 25, 37, 45, 47,

TD-CDMA 38

TETRA 26, 36, 37

Transkonduktanski pojačavač 9

Translacija učestanosti 11

Transponovani opseg signala 9, 11, 29

U

UDP protokol 25

UHF opseg učestanosti 2, 5, 8, 36

UMTS 37, 38, 46

Uskopojasni signal 39

UWC-136 38

V

VCXO 5, 10

Verovatnoća greške u prenosu 13, 51

VPN mreža 48

W

W-CDMA 38

WAN mreža 45

Z

Zona, servisna 31

Literatura

1. "Miloš 200 Meteorological Network - System Description", Vaisala Traffic Safety Systems Technical Publications, 1992
2. D. Krstić: "Radiotehnika - radiokomunikaciona elektronika i sistemi", Izdavačka jedinica Univerziteta u Nišu, 1999. god.
3. "nRF9E5 Single Chip Transceiver with Embedded 8051 Compatible Microcontroller and 10-bit ADC", Nordic Semiconductor ASA, 2005
4. "nRF905 Single Chip 433/868/915 MHz Radio Transceiver", Nordic Semiconductor ASA, 2005
5. "Oxford Dictionary of Computing", Oxford University Press, 1996
6. S. Svrzić i D. Čosović: "TETRA - novi standard za digitalne trunking sisteme" - Novi Glasnik 2-3, mart - jun 2002. god.
7. <http://cas.et.tudelft.nl/~glas/ssc/technOld/>
8. <http://gth.die.upm.es/~macias/docencia/%20datasheets/osc-clock/osctut.pdf>
9. <http://keskus.hut.fi/opetus/s38118/s98/htyo/54/index.shtml>
10. <http://users.ece.gatech.edu/~wenye/4GDoD/index.html>
11. http://users.tkk.fi/~jrautpal/gprs/gprs_sec.html
12. www.3g-generation.com
13. www.3gpp.org/specs/download.htm
14. www.absoluteastronomy.com/encyclopedia/i/in/internet_protocol.htm
15. www.absoluteastronomy.com/encyclopedia/t/tr/transmission_control_protocol.htm
16. www.aero.org/publications/crosslink/winter2002/index.html
17. www.ant.uni-bremen.de/whomes/rinas/dfs/linear/modreference.html
18. www.auditmypc.com/acronym/GSM.asp
19. www.cellular.co.za
20. www.cisco.com/offer/sp/pdfs/mobile/gprs_wp.pdf
21. www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/ip.pdf
22. www.cisco.com/warp/public/535/2.html
23. www.educatorscorner.com/media/AN_5965-7160E.pdf
24. www.freenet.msp.mn.us/people/brose/papers/pcs.html
25. www.geckobeach.com/cellular/intro/glossary.htm
26. www.german-way.com/handy_voc.html
27. www.item.ntnu.no/fag/tm8100/%20Pensumstoff2004/Johan-Mellberg-kth.pdf
28. www.maxim-ic.com/design/information.cfm
29. www.melbpc.org.au/pcupdate/2403/2403article6.htm
30. www.mobilecomms-technology.com/projects
31. www.newsfactor.com/perl/story/10012.html
32. www.palowireless.com/3g/cdma.asp
33. www.phreak.org/archives/radiophone
34. www.potaroo.net/ietf/html/rfc-index.html
35. www.rand.org/publications/RM/baran.list.html
36. www.rjsmith.com/wan.html
37. www.sss-mag.com/pdf/1cellular.pdf
38. www.sss-mag.com/pdf/cascaden.pdf
39. www.sss-mag.com/pdf/gmsk_tut.pdf
40. www.tml.hut.fi/Opinnot/Tik-110.551/2000/papers/management_in_IETF/iwork.htm
41. www.umtsworld.com
42. www.vissing.dk/inthist.html
43. www.windowsnetworking.com/articles_tutorials/tcpip.html
44. www.windowsnetworking.com/articles_tutorials/tcpipprt.html

Gotovi seminarski, maturski, maturalni i diplomski radovi iz raznih oblasti, lektire , puškice, tutorijali, referati - specijalizovan tim za usluge visokokvalitetnog pisanja, istraživanja i obradu teksta za kompletan region Balkana.

Posetite nas na sajtovima ispod:

WWW.MATURSKIRADOVI.NET

WWW.SEMINARSKIRAD.ORG

WWW.MATURSKI.NET

WWW.MATURSKI.ORG

WWW.SEMINARSKIRAD.INFO

Dostupni smo Vam 24h 365 dana u godini.

Za gotove verzije rada obratiti se na mail:

maturskiradovi.net@gmail.com

061/ 11-00-105

Seminarski, diplomski, maturski radovi, prevodi na engleski i eseji...