

PRINCIPI TELEKOMUNIKACIJA

Miroslav L. Dukić

AKADEMSKA MISAO
Beograd, 2014

Miroslav L. Dukić

PRINCIPI TELEKOMUNIKACIJA

Drugo izdanje

Recenzenti

Prof. dr Dušan Drajić

Prof. dr. Jovan Radunović

Izdaje i štampa

AKADEMSKA MISAO

Beograd

Tiraž

300 primeraka



ISBN 978-86-7466-504-6

NAPOMENA: Fotokopiranje ili umnožavanje na bilo koji način ili ponovno objavljivanje ove knjige u celini ili u delovima nije dozvoljeno bez izričite saglasnosti i pismenog odobrenja izdavača.

PREDGOVOR

Fenomen komunikacije može se shvatiti kao kompleksni skup procesa i tehnologija, pomoću kojih se neki smisleni sadržaj, poruka, prenosi ili ekstrahuje iz neke informacije. Ovaj termin danas se koristi da označi raznovrsne aktivnosti kao što su konverzacija, prenos poruke od izvora do korisnika posredstvom nekog elektromagnetnog sistema, veze u mreži nervnih i metaboličkih pod sistema jednog organizma itd. S obzirom na to da mu se pridaju tako raznovrsna značenja, nije moguće strogo definisati fenomen komunikacije, a ne postoje ni jasno odvojeni komunikacioni domeni niti univerzalno prihvaćeni model komunikacije.

Termin telekomunikacije odnosi se specifično na skup procesa i tehnologija u posmatranom elektromagnetnom sistemu kroz koji se prenose poruke.

Do početka 20. veka teorije komunikacije razvijali su uglavnom filozofi, lingvističari i retoričari. Primera radi, Aristotel je smatrao da je retorika traganje za svakim mogućim načinom da se slušalac u nešto ubedi i da se mora detaljno proučiti govornik, poruka i publika da bi se razumeo uticaj retorike i način njenog delovanja. Takav koncept zadržao se sve do 19. veka bez većih izmena. Descartes i Leibniz shvatali su matematiku kao univerzalni jezik kojim se opisuju fizički sistemi i fenomeni, a razmišljali su i o konstrukciji veštačkog jezika koji bi poboljšao preciznost komunikacije. Osnovni doprinos sveobuhvatnoj teoriji komunikacije dali su Claude Shannon 1948.g. u radu "*A mathematical Theory of Communication*", [Sha, 48], i Norbert Wiener u radu "*Control and Communication in the Animal and the Machine*", [Wie, 48].

Shannon-ov model komunikacionog sistema sačinjen je od sledećih šest osnovnih entiteta: izvor poruka, predajnik, komunikacioni kanal, izvor šuma, prijemnik i odredište. Pri tome, suština komunikacije sastoji se u rešavanju problema koliko tačno se simboli koji predstavljaju poruku mogu preneti, koliko precizno ti simboli prenose smisao poruke i na koji način primljena poruka utiče na njenog primaoca. Osnovni doprinos Wiener-a ogleda se u uvodjenju koncepta povratne sprege, ideja koja je proistekla iz analize interakcija između ljudi, životinja i fizičkog okruženja. U domenu komunikacije, povratna sprega je specifični odgovor koji ukazuje na način na koji je poruka primljena.

Dalja nadogradnja modela komuniciranja ostvarena je u okviru socijalne psihologije i antropologije, gde su uzeti u obzir i faktori kao što su predodređenost osobina ličnosti, kredibilitet izvora, stanja kognitivne doslednosti primaoca poruke, parametri poruke itd. Pri tome, postoje dva osnovna pristupa u definisanju međuljudske komunikacije. Prvi pristup, poznat kao neverbalna komunikacija, obuhvata sve načine na koje ljudi utiču jedni na druge, čak i nenamerno, [Hal, 59]. Ovaj pristup definiše komunikaciju u odnosu na odgovor prijemnika, čime se uzima u obzir i ukupno okruženje socijalnog ponašanja. Drugi pristup

podrazumeva komunikaciju koja je ograničena na samo one namerne interakcije koje se manifestuju preko simbola, što, u osnovi, znači da je sam čin komunikacije određen namerom. Drugim rečima, faktori kao što su kredibilitet izvora poruke, redosled prezentacije argumenata i sposobnost selektivne percepcije, značajno utiču na kvalitet komunikacije. Oba ova pristupa u definisanju modela komunikacije imaju određene nedostatke. Prvi, zato što implicira da je sve u komunikaciji, a drugi zato što zavisi od namere, ili stanja izvora informacije. Mogući pristup da se prevaziđu ovi nedostaci je, da se komunikacija definiše kao događaj kome izvor i korisnik daju značaj u smislu ponašanja vezanog za prenesene poruke. Treba istaći da se međjuljudska komunikacija često klasifikuje i na bazi sledećih osnovnih funkcija: referencijalna, emotivna, konativna, poetična, fatična i metajezička.

Druga velika oblast humane komunikacije odnosi se na jezik i verbalno ponašanje, pri čemu se ima u vidu da jezik nije jedini sistem komunikacije, ali da ima najveću komunikacionu moć. Konvencije između sagovornika koji se služe istim jezikom omogućavaju da određeni zvuk predstavlja jednu reč koja po konvenciji predstavlja ime nekog objekta, što se može svesti pod termin *semiotika*. Uobičajena je podela jezičke komunikacije na sledeća tri segmenta: *semantika* (odnos između znakova), *sintaktika* (pravila koja upravljaju kombinacijama znakova bez obzira na njihovo značenje) i *pragmatika* (reakcije na osnovu primljenih znakova).

U toku dosadašnjeg razvoja humanog društva na raspolaganju su bili jedino vizuelni i akustički metodi signalizacije, kao sredstva za ostvarenje komunikacije. Mnogi istraživači u oblasti telekomunikacija smatraju da devetnaesti vek predstavlja prekretnicu u razvoju savremenih telekomunikacija. To je doba kada se započelo sa intenzivnim istraživanjima elektromagnetnih fenomena, što je ubrzo dovelo do otkrića električnog telegrafa, telefona, radija itd. Primera radi, začeci savremene tehnologije vremenskog multipleksiranja potiču iz 1874.g., kada je Emil Bodo povećao kapacitet jedne telegrafске linije tako što je šest operatera delilo liniju na *cikličnoj bazi*. Konvencionalno se smatra da era savremenih telekomunikacija počinje otkrićem telefona 1876.g. od strane A.G. Bell-a. Dalji razvoj telekomunikacija bio je uslovljen razvojem odgovarajućih tehnologija, pre svega u domenu radija.

Savremene telekomunikacije mogu se opisati sledećim atributima: konvergencija sistema i servisa, privatizacija, liberalizacija, , mobilnost i globalnost.

Jedan od osnovnih fenomena u razvoju savremenih telekomunikacija je *konvergencija*. Pojam konvergencija danas ima različita značenja što često dovodi i do pogrešne interpretacije. U svetu telekomunikacija, pojam konvergencija označava proces ka korišćenju jednog sistema za prenos poruka umesto kombinacije više njih. Većina telekomunikacionih servisa (kao i veći deo odgovarajuće opreme) koji danas postoje, imaju značajna tehnoloških ograničenja koja su postojala u vreme njihovog razvoja i uvođenja u operativnu upotrebu. Osnovni faktori koji utiču na proces konvergencije su zahtevi za nižom cenom servisa i sistema, jednostavnost upotrebe servisa i uređaja, jednostavno održavanje sistema, jedinstven korisnički interfejs, brzina realizacije servisa, neprekidno usavršavanje servisa i sistema, jedinstvena i transparentna regulativa u oblasti telekomunikacija, interoperabilnost sa postojećom infrastrukturom i aplikacijama itd. Kao posledica konvergencije i tehnološkog razvoja dosadašnji telekomunikacioni sistemi čije su osnovne karakteristike hibridna analogno-digitalna tehnologija, komutacija kola, striktna regulativa, tarifiranje prema vremenu i rastojanju konvergiraju u sistem koji se odlikuju potpunom digitalnom tehnologijom, jedinstvenom transparentnom platformom, upotrebom

Internet protokola i tarifiranjem isključivo prema protoku.

Procesi vrlo velikih promena u oblasti telekomunikacija krajem prošlog veka bili su prouzrokovano brzim tehnološkim promenama, liberalizacijom tržišta, rastućom ulogom sistema javne mobilne telefonije, sve širom primenom Internet protokola i vrlo značajnim porastom prenosa podataka u odnosu na prenos govora. Ako se svemu ovome doda i činjenica da je proces reformi u oblasti telekomunikacija započeo 80-tih godina prošlog veka konačno počeo da donosi plodove, jasno je da je razvoj oblasti telekomunikacija, kao osnovne infrastrukture savremenog društva, postao presudan činilac u razvoju društva u celini.

Izuzetno brz razvoj informaciono-komunikacionih tehnologija (ICT) u savremenom svetu koji je već ušao u eru digitalne podele, ima strateški karakter i višestruki značaj na političkom, ekonomskom, socijalnom i informativnom planu. Telekomunikacije spadaju u infrastrukturnu privrednu granu i ulaganja u telekomunikacionu i informacionu infrastrukturu jedan su od glavnih pokretača ekonomskog i društvenog napretka. Strateški značaj globalizacije pojačava se kroz liberalizaciju, privatizaciju, tehnološki razvoj, povećane zahteve korisnika i multilateralnu kompeticiju na konvergentnom telekomunikacionom tržištu. Strateški savezi između velikih kompanija vode globalizaciji telekomunikacionih servisa, telekomunikacionog tržišta i razvojnih politika i opredeljenja. Liberalizacija sektora telekomunikacija koja je dogovorena pod okriljem Svetske trgovinske organizacije i obavezujuća od strane EU, pretpostavlja da zemlje članice preduzmu reforme u sektoru telekomunikacija koje podrazumevaju promenu organizacije domicilnih telekomunikacionih operatera i pružalaca telekomunikacionih servisa u cilju ulaska novih konkurenata i investicija.

Regulatorni okvir EU za mreže i servise elektronskih komunikacija u državama EU15, počeo je da se primenjuje od 25.7.2003.g. Na ovom mestu treba istaći da je u Evropi prihvaćen nov naziv elektronske komunikacije, umesto klasičnog telekomunikacije, kao posledica konvergencije telekomunikacionog i informacionog sektora. Ovaj regulatorni okvir definisao je pojednostavljene uslove za ulazak na tržište, uslove poštene konkurencije i kontrolu rada operatera za koje je, na osnovu analize nacionalnih regulatornih tela, utvrđeno da imaju značajan udeo u tržištu. Sve ove mere imale su ključnu ulogu u kasnijem ekstenzivnom razvoju sektora telekomunikacija. EU je i kroz programe "eEurope 2002" i "eEurope 2005" pokrenula niz inicijativa čiji je osnovni cilj bio ubrzan razvoj savremenog informacionog društva. Početkom 2005.g. Evropska komisija prihvatila je i Inicijativu i2010 čiji je ključni cilj smanjenje digitalnog jaza povećanjem dostupnosti i mogućnosti korišćenja tehnologija i usluga informacionog društva u svim delovima EU. Najvažniji element u ostvarivanju ovih planova bio je razvoj i dostupnost širokopojasne telekomunikacione infrastrukture.

Evropska unija je 3.3.2010.g. usvojila Strategiju "Evropa 2020: Strategija za pametni, održivi i inkluzivni rast" (EUROPE 2020: *A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*) u okviru koje su definisani ciljevi i instrumenti za obezbeđivanje konkurentnosti i poboljšanje standarda. U skladu sa intencijama strategije, formirana je Evropska digitalna agenda čiji je osnovni cilj razvoj jedinstvenog digitalnog tržišta na kome ključnu infrastrukturu čini širokopojasni Internet dostupan svim učesnicima na digitalnom tržištu. Jedinstveno digitalno tržište predstavlja najizazovnije područje razvoja savremenog informacionog društva. Opredeljenja data u Strategiji "Evropa 2020" zasnivaju se, između ostalog, i na rezultatima analiza razvoja, ponašanja i uticaja digitalnog tržišta na nacionalne ekonomije u toku poslednjih deset godina. Pri tome, digitalna ekonomija ima rast i do pet

puta veći u odnosu na konvencionalne nacionalne ekonomije. Imajući u vidu sve ove činjenice, jasno je da telekomunikaciona infrastruktura predstavlja okosnicu razvoja savremenog informacionog društva.

SADRŽAJ

1	UVOD	1
1.1.	ISTORIJAT RAZVOJA TELEKOMUNIKACIJA	4
1.2.	MEDJUNARODNE ORGANIZACIJE U OBLASTI TELEKOMUNIKACIJA	8
1.2.1.	Medjunarodna unija za telekomunikacije	9
	ITU-R sektor	11
	ITU-T sektor	13
	ITU-D sektor	14
	ITU strategija	14
1.2.2.	Regionalne organizacije u oblasti telekomunikacija	16
1.3.	PRINCIPI SAVREMENE REGULATIVE U OBLASTI TEKOMUNIKACIJA.....	16
1.4.	PROCES KOMUNICIRANJA.....	19
1.4.1.	Osnovne definicije	19
1.5.	MODEL TELEKOMUNIKACIONOG SISTEMA	20
1.6.	POJAM INFORMACIJE.....	22
1.6.1.	Uzajamna informacija	26
1.6.2.	Diskretni izvor sa memorijom. Markovljevi izvor	29
1.6.3.	Kontinualni izvor informacija.....	31
1.6.4.	Kapacitet kanala. Kontinualni Gauss-ov kanal.....	33
2	SIGNALI I SISTEMI	37
2.1.	PORUKE I SIGNALI.....	37
2.1.1.	Podela poruka.....	37
2.1.2.	Priroda i podela signala	38
2.2.	SPEKTRALNA ANALIZA PERIODIČNIH SIGNALA	40
2.2.1.	Parseval-ova teorema.....	42
2.2.2.	Korelacija periodičnih signala	42
	Autokorelacija	43
2.2.3.	Konvolucija periodičnih signala	43
2.3.	SPEKTRALNA ANALIZA APERIODIČNIH SIGNALA	44
2.3.1.	Korelacija aperiodičnih signala	47

	Autokorelacija	48
2.3.2.	Konvolucija aperiodičnih signala.....	48
2.3.3.	Fourier-ova transformacija singularnih funkcija	50
2.4.	DISKRETIZACIJA U VREMENU KONTINUALNIH SIGNALA.	
	TEOREMA O ODABIRANJU	51
2.4.1.	O značaju teoreme o odabiranju u telekomunikacijama.....	54
2.4.2.	Preklapanje spektara	56
2.5.	LINEARNI I NELINEARNI SISTEMI	60
2.5.1.	Koncept sistema.....	60
2.5.2.	Osobine sistema	60
2.5.3.	Karakterizacija linearnog sistema	62
2.5.4.	Kompleksna anvelopa	65
2.5.5.	Analiza linearnih sistema u frekvencijskom domenu	67
	Linearna izobličenja	69
2.5.6.	Idealan sistem propusnik niskih učestanosti.....	71
	Vreme uspostavljanja i pojava oscilovanja	72
2.5.7.	Kriterijum potrebne širine propusnog opsega sistema	73
2.5.8.	Sistem simetrični propusnik opsega učestanosti.....	74
2.5.9.	Fizička ostvarljivost funkcije prenosa sistema	76
	Lokacija signala u vremenu i spektru.....	78
	Brzina prostiranja grupe i grupno kašnjenje.....	79
2.5.10.	Nelinearni sistemi	81
	Harmonijska izobličenja.....	81
	Intermodulaciona izobličenja	82
2.6.	DISKRETNI SIGNALI I SISTEMI	83
2.6.1.	Linearni vremenski invarijantni diskretni sistemi.....	84
	Podela diskretnih linearnih vremenski nepromenljivih sistema	85
2.7.	DISKRETNA FOURIER-OVA TRANSFORMACIJA	86
2.7.1.	Uobličavanje spektra signala pomoću prozorskih funkcija.....	89
	Pravougaona prozorska funkcija	89
	Sinusna prozorska funkcija	89
2.8.	BRZA FOURIER-OVA TRANSFORMACIJA	91
2.9.	GRAM-SCHMIDT-OVA PROCEDURA	93
2.9.1.	Veza između signala i vektora	97
2.9.2.	Prepoznavanje signala	100
2.10.	JEDINICE KOJE SE KORISTE U PRENOSU SIGNALA.....	102
2.11.	OSNOVNE KARAKTERISTIKE SIGNALA GOVORA	104
2.11.1.	Širina spektra signala govora.....	105
2.11.2.	Raspodela amplituda signala govora.....	109
2.11.3.	Snaga signala govora.....	111
2.11.4.	Spektralna gustina srednje snage signala govora.....	113
2.11.5.	Signal govora i učestanost odabiranja.....	114
2.11.6.	Testiranje kvaliteta signala govora.....	114
2.11.7.	Interpolacija signala govora.....	115
2.12.	TELEVIZIJSKI SIGNAL	117
2.12.1.	Princip analize slike	119

2.12.2.	Osnovne karakteristike televizijskog signala.....	121
	Spektralne karakteristike video signala.....	122
2.12.3.	Osnovni principi kolorimetrije	126
	Osnovne karakteristike kolor televizijskog signala.....	128
3	ELEMENTI TEORIJE SLUČAJNIH PROCESA U TELEKOMUNIKACIJAMA	131
3.1.	ELEMENTI TEORIJE VEROVATNOĆE.....	131
3.1.1.	Aksiome verovatnoće i osobine verovatnoće.....	132
3.1.2.	Bayes-ova formula.....	133
3.2.	SLUČAJNE PROMENLJIVE I SLUČAJNI VEKTORI	136
3.2.1.	Funkcija raspodele.....	136
3.2.2.	Slučajan vektor.....	137
	Uslovne verovatnoće.....	138
	Srednje vrednosti i momenti	139
3.2.3.	Funkcije slučajnih promenljivih i slučajnih vektora.....	140
3.2.4.	Normalna raspodela.....	141
	Dvodimenzionalna Gauss-ova raspodela	142
3.2.5.	Odredjivanje funkcije gustine raspodele.....	142
3.3.	KARAKTERISTIČNA FUNKCIJA.....	143
3.3.1.	Transformacija slučajne promenljive	144
3.3.2.	Karakteristična funkcija normalne slučajne promenljive.....	145
3.4.	CENTRALNA GRANIČNA TEOREMA.....	146
3.5.	SLUČAJNE SEKVENCE SA PROIZVOLJNOM RASPODELOM	147
3.6.	SLUČAJNI PROCESI.....	148
3.6.1.	Vrste slučajnih procesa.....	149
3.6.2.	Momenti slučajnog procesa	149
3.6.3.	Stacionarnost slučajnog procesa	150
	Stacionarnost u širem smislu.....	151
	Ciklostacionarnost slučajnog procesa u širem smislu	151
	Odziv linearnog vremenski invarijantnog sistema na pobudu slučajnim procesom koji je (ciklo)stacionaran u širem smislu.....	151
3.6.4.	Spektralna gustina srednje snage	152
	Wiener-Khinchin-ova teorema	152
	Srednja snaga slučajnog procesa	154
	Ergodičnost slučajnog procesa	154
3.6.5.	Gauss-ov slučajni proces.....	155
	Beli Gauss-ov šum	156
3.6.6.	Slučajni procesi i linearni sistemi.....	156
	Hilbert-ova transformacija slučajnog procesa	157
3.6.7.	Uskopojasni slučajni procesi	158
3.7.	ŠUM U TELEKOMUNIKACIONIM SISTEMIMA.....	160
3.7.1.	Impulsni šum i njegove karakteristike	161
3.7.2.	Termički šum i njegove karakteristike.....	162
	Raspodela amplituda termičkog šuma.....	164
	Ekvivalentna kola izvora termičkog šuma	166
3.7.3.	Beli šum i njegove karakteristike.....	168

3.7.4.	Uskopojasni aditivni beli Gauss-ov šum.....	172
	Statističke karakteristike uskopojasnog slučajnog šuma	177
	Statističke karakteristike zbira sinusoidalnog signala i uskopojasnog slučajnog šuma	179
4	ANALOGNE MODULACIJE	184
4.1.	UVOD.....	184
4.2.	AMPLITUDSKA MODULACIJA	186
4.2.1.	Amplitudska modulacija sa dva bočna opsega	186
4.2.2.	Principi realizacije amplitudskih modulatora	189
	Produktna modulacija i nelinearni sklop	189
	Balansni nelinearni modulator	191
	Balansni prekidački modulator.....	192
4.2.3.	Kvadratura amplitudska modulacija.....	194
4.2.4.	Konvencionalna amplitudska modulacija.....	194
	Energetski bilans CAM signala.....	197
4.2.5.	Amplitudska modulacija sa jednim bočnim opsegom.....	197
	Balansni modulator sa filtrom za izdvajanje bočnog opsega.....	199
4.2.6.	Amplitudska modulacija sa nesimetričnim bočnim opsezima..	200
4.2.7.	Demodulacija amplitudski moduliranih signala.....	204
	Koherentna demodulacija CAM signala	204
	Costas-ova petlja i sinhrona demodulacija AM signala	205
	Koherentna demodulacija AM-SSB signala.....	205
	Nelinearni kvadratni demodulator.....	206
	Detektor anvelope	207
4.3.	UGAONE MODULACIJE	209
4.3.1.	Srednja snaga ugaono moduliranog signala.....	213
4.3.2.	Spektar ugaono moduliranog signala	214
	Modulišući signal u obliku sume dva sinusoidalna test tona.....	215
	Modulišući signal kao stacionaran slučajni Gaussov proces	216
4.3.3.	Širina propusnog opsega sistema za prenos ugaono moduliranih signala.....	219
	Osobine spektra fazno moduliranih signala	222
	Osobine spektra frekvencijski moduliranih signala	222
4.3.4.	Principi realizacije frekvencijskih modulatora	224
	Direktni postupci generisanja FM signala.....	224
	Indirektni postupci generisanja FM signala	225
4.3.5.	Demodulacija FM signala.....	227
	Konvertori FM u AM signale.....	227
	Diskriminatori sa faznim mrežama	230
	Detektor prolaska kroz nulu	231
4.4.	UTICAJ ŠUMA U TELEKOMUNIKACIONIM SISTEMIMA SA ANALOGNIM MODULACIJAMA.....	233
4.4.1.	Uvod	233
4.4.2.	Odnos (S/N) u telekomunikacionim sistemima sa amplitudskom modulacijom	234
	Odnos (S/N) kod CAM i AM-DSB sa koherentnom demodulacijom	234

	Odnos (S/N) kod CAM sa nekoherentnom demodulacijom.....	236
	Odnos (S/N) kod AM-SSB sa koherentnom demodulacijom.....	238
	Linearni modulacioni postupci i sinusoidalna interferencija.....	239
4.4.3.	Odnos (S/N) u telekomunikacionim sistemima sa ugaonim modulacijama	240
	Fazna modulacija	241
	Frekvencijska modulacija.....	242
	Poredjenje SGSS šuma na izlazu iz prijemnika fazno i frekvencijski modulisanih signala.....	243
	Prag prijema kod frekvencijske modulacije	244
	Ugaone modulacije i sinusoidalna interferencija	249
	Poboljšanje odnosa (S/N) kod FM sa pre-emfazisom i de-emfazisom	251
	Ekstenzija praga prijema kod FM. Demodulator sa povratnom spregom.....	256
4.5.	POREDJENJE ANALOGNIH MODULACIONIH POSTUPAKA	257
4.6.	FAZNO ZAKLJUČANA PETLJA - PLL.....	260
4.6.1.	Linearni model PLL.....	263
4.6.2.	Primena PLL	265
	Sinhrona demodulacija.....	265
	Frekvencijski sintetizator	267
	PLL kao demodulator FM signala.....	268
4.6.3.	Uticaj šuma na PLL	268
4.7.	SPEKTRALNI ANALIZATOR.....	269
4.8.	SUPERHETERODINSKI PRIJEMNIK	271
4.9.	STEREOFONSKI SISTEM.....	274
4.10.	OSNOVNI PRINCIPI PRENOSA TELEVIZIJSKOG SIGNALA	276
5	IMPULSNE MODULACIJE	279
5.1.	UVOD.....	279
5.2.	IMPULSNA AMPLITUDSKA MODULACIJA	280
5.2.1.	Prirodno odabiranje.....	281
5.2.2.	Regularno odabiranje	282
5.3.	IMPULSNA ŠIRINSKA I IMPULSNA POLOŽAJNA MODULACIJA	284
5.3.1.	Spektar PPM signala.....	285
5.4.	UTICAJ ŠUMA U SISTEMIMA SA IMPULSNIM MODULACIJAMA	286
5.4.1.	Sistem sa impulsnom amplitudskom modulacijom	286
5.4.2.	Sistem sa impulsnom položajnom modulacijom.....	287
6	ANALOGNO-DIGITALNA KONVERZIJA. KODIRANJE IZVORA	290
6.1.	PRINCIPI ANALOGNO-DIGITALNE KONVERZIJE SIGNALA	290
6.1.1.	Formatiranje tekstualnih podataka.....	291
6.2.	KVANTIZACIJA.....	292
6.2.1.	Skalarna kvantizacija	294

	Linearna kvantizacija	294
	Nelinearna kvantizacija. Kompresija	296
6.2.2.	Vektorska kvantizacija	300
6.3.	IMPULSNA KODNA MODULACIJA	302
6.3.1.	Neuniformna kvantizacija	303
	μ karakteristika kompresije	303
	A karakteristika kompresije	305
6.3.2.	Segmentirana karakteristika kompresije.....	307
	Segmentirana A karakteristika kompresije	308
6.3.3.	NICAM kompresija	310
6.4.	DIFERENCIJALNA IMPULSNA KODNA MODULACIJA	311
6.4.1.	Adaptivna kvantizacija	314
6.4.2.	Adaptivna predikcija	316
6.4.3.	A/D konverzija u vidu adaptivnog podopsežnog kodiranja	317
6.5.	DELTA MODULACIJA.....	318
6.5.1.	Adaptivna delta modulacija	321
6.5.2.	Sigma-Delta modulacija.....	322
6.6.	KOMPRESIJA IZVORA.....	323
6.6.1.	Kodovi promenljive dužine kodne reči.....	325
	Prefiksni i trenutni kodovi.....	327
	Kraft–McMillan-ova nejednakost	328
	Optimalan kod.....	329
6.6.2.	Entropijsko kodiranje.....	330
	Shannon-Fano-vo kodiranje	334
	Huffman-ovo kodiranje	336
	Adaptivno Huffman-ovo kodiranje.....	340
	Lempel-Ziv-Welch kodiranje.....	340
	Aritmetičko kodiranje	344
	Run-length kodiranje.....	348
6.7.	KODIRANJE SIGNALA GOVORA	350
6.7.1.	Koderi signala govora	352
6.7.2.	Linearno prediktivno kodiranje govora.....	353
6.7.3.	CELP koder	356
6.8.	ODNOS S/N U SISTEMIMA SA IMPULSNOM KODNOM I DELTA MODULACIJOM.....	357
6.9.	DIGITALIZACIJA AUDIO SIGNALA	361
6.10.	JPEG STANDARD KOMPRESIJE SLIKE	363
7	PRINCIPI PRENOSA DIGITALNIH SIGNALA	365
7.1.	UVOD.....	365
7.2.	LINIJSKI KODOVI	368
7.2.1.	Talasni oblici signala.....	368
7.2.2.	SGSS digitalnih signala.....	370
	Polarni binarni signal, NRZ	371
	Unipolarni binarni signal, NRZ.....	371
	Bipolarni binarni signal, NRZ.....	372

	BnZS kod	372
	HDB linijski kodovi	373
	Manchester kod	374
	M-arno signaliziranje	375
	Poredjenje SGSS	375
7.3.	INTERSIMBOLSKA INTERFERENCIJA	377
7.3.1.	Idealan sistem	377
7.3.2.	Dijagram oka	379
7.3.3.	Nyquist-ovi kriterijumi	380
	Prvi Nyquist-ov kriterijum	381
	Drugi Nyquist-ov kriterijum	386
7.3.4.	Duobinarno signaliziranje	388
	Delimični odziv klase I	388
	Delimični odziv klase IV	390
	Generalizacija signaliziranja sa delimičnim odzivom	392
7.4.	UTICAJ ŠUMA NA PRENOS U OSNOVNOM OPSEGU UČESTANOSTI	393
7.4.1.	Verovatnoća greške u odlučivanju	393
7.5.	PRENOS DIGITALNIH SIGNALA U OSNOVNOM OPSEGU UČESTANOSTI	397
7.6.	OPTIMIZACIJA SISTEMA ZA PRENOS SIGNALA	399
7.6.1.	Optimalan filter	400
7.6.2.	Podešeni filter	401
	M-arno signaliziranje i podešeni filter	402
7.6.3.	Korelacioni prijemnik	403
7.6.4.	Prijemnik sa integracijom i rasterećenjem	404
7.6.5.	Optimizacija sistema u odnosu na uticaj slučajnog šuma i intersimbolske interferencije	405
7.7.	EKVALIZACIJA	407
7.7.1.	Zero-Forcing ekvalizator	408
7.7.2.	Adaptivna ekvalizacija	410
	Gradijentni algoritam	411
	Widrow-Hopf-ov algoritam	413
7.8.	SIGNALIZIRANJE SA RAZLIČITIM TALASNIM OBLICIMA	415
7.9.	OPTIMALNI POSTUPCI DETEKCIJE	416
7.9.1.	Elementi teorije odlučivanja	416
7.9.2.	Matrica prelaska simbola	417
	Simetrični binarni kanal	418
7.9.3.	Bayes-ov kriterijum odlučivanja	420
	Optimalna vrednost praga odlučivanja	421
7.9.4.	Kriterijum minimalne greške	423
7.9.5.	Kriterijumi maksimalne aposteriori verovatnoće i maksimalne verodostojnosti	423
7.9.6.	Minimaks kriterijum	425
7.9.7.	Neyman-Pearson-ov kriterijum	426
7.10.	NE-BELI ADITIVNI GAUSS-OV ŠUM I PODEŠENI FILTAR	428

8	DIGITALNE MODULACIJE	429
8.1.	UVOD.....	429
8.1.1.	Osnovni modulacioni postupci	432
8.2.	KRITERIJUMI ZA IZBOR MODULACIONOG POSTUPKA.....	432
8.2.1.	Kriterijum efikasnosti po snazi.....	433
8.2.2.	Kriterijum spektralne efikasnosti.....	433
8.2.3.	Kompleksnost sistema.....	435
8.3.	PREGLED DIGITALNIH MODULACIONIH POSTUPAKA	435
8.4.	DETEKCIJA SIGNALA NEPOZNATE FAZE.....	438
8.5.	DIGITALNA AMPLITUDSKA MODULACIJA.....	440
8.5.1.	Binarna ASK i koherentna demodulacija	440
8.5.2.	Binarna ASK i nekoherentna demodulacija	442
8.6.	DIGITALNA FAZNA MODULACIJA.....	444
8.6.1.	Binarna PSK.....	444
8.6.2.	Diferencijalna BPSK.....	446
8.6.3.	Koherentna QPSK	447
	Sinhronizacija nosioca	451
	Diferencijalno kodirana QPSK.....	452
	Offset QPSK	454
	$\pi/4$ -QPSK.....	455
8.6.4.	M-arna PSK.....	458
8.7.	M-ARNA KVADRATURNAMODULACIJA	463
8.8.	DIGITALNA FREKVENCIJSKA MODULACIJA	467
8.8.1.	Binarna FSK.....	467
	Binarna FSK i koherentna demodulacija.....	468
	Binarna FSK i nekoherentna demodulacija.....	470
8.8.2.	M-arna FSK.....	473
8.8.3.	FSK sa kontinualnom promenom faze, CPFSK	477
	Binarna CPFSK sa minimalnim pomerajem učestanosti nosioca...480	
	MSK sa Gauss-ovim uobličavanjem	486
8.9.	KOMPARACIJA DIGITALNIH MODULACIJA	489
8.9.1.	Komparacija PSK modulacija	489
8.9.2.	Komparacija FSK modulacija	490
8.9.3.	Komparacija MPSK i MFSK.....	492
8.9.4.	Komparacija M-QAM i MPSK.....	492
8.10.	SHANNON-OVA GRANICA I SPEKTRALNA EFIKASNOST.....	494
9	PRINCIPI KODIRANJA	497
9.1.	UVOD.....	497
9.2.	PRINCIPI KODIRANJA.....	498
9.2.1.	Klasifikacija i razvoj postupaka zaštitnog kodiranja	499
9.2.2.	Hamming-ovo rastojanje	501
9.2.3.	Linearni blok kodovi.....	502
	Repeticioni kodovi	508

	Optimalno dekodiranje.....	509
9.3.	HAMMING-OV KOD	513
9.4.	CIKLIČNI KODOVI	514
	9.4.1. Ciklični Hamming-ov kod	518
	9.4.2. CRC ciklični kodovi.....	519
9.5.	BCH KOD	520
9.6.	GOLAY-EV KOD.....	521
9.7.	REED–SOLOMON-OVI KODOVI	521
9.8.	KONVOLUCIONI KODOVI	521
	9.8.1. Viterbi-jev algoritam	526
9.9.	PRIMERI DIZAJNA SISTEMA SA ZAŠTITNIM KODIRANJEM.....	529
	9.9.1. Sistem sa ograničenom širinom propusnog opsega i bez zaštitnog kodiranja.....	529
	9.9.2. Sistem sa ograničenom snagom i bez zaštitnog kodiranja	530
	9.9.3. Sistem sa ograničenom širinom propusnog opsega, ograničenom snagom i sa zaštitnim kodiranjem	531
	9.9.4. Sistem proširenog spektra sa direktnom sekvencom i zaštitnim kodiranjem.....	532
9.10.	TRELIS KODIRANA MODULACIJA.....	534
	9.10.1. TCM kodiranje.....	535
	Ungerboeck-ovo particioniranje.....	535
	Dodeljivanje talasnih oblika signala prelazima u trelistu	536
	9.10.2. TCM dekodiranje.....	537
	Slobodno rastojanje i greška detekcije	537
	Kodni dobitak.....	538
	9.10.3. Ostali tipovi trelist kodova.....	539
	Paralelne putanje	539
	Trelis sa osam stanja	540
	Trelis kodiranje za QAM.....	540
	Višedimenzione TCM	541
9.11.	PRINCIPI KRIPTOGRAFIJE	543
	9.11.1. Perfektna sigurnost	546
	9.11.2. Računska sigurnost	547
	9.11.3. Kriptosistem javnog ključa	548
	9.11.4. Diffie-Hellman-ov kriptosistem.....	548
	9.11.5. RSA kriptosistem	550
	9.11.6. Digitalni potpis	551
10	TELEKOMUNIKACIONA VEZA	552
	10.1. UVOD	552
	10.2. SLUČAJAN ŠUM.....	554
	10.2.1. Temperatura šuma.....	555
	10.2.2. Efektivna temperatura sopstvenog šuma sistema. Temperatura šuma sistema	556
	10.2.3. Faktor šuma.....	558

10.2.4.	Efektivna temperatura sopstvenog šuma i faktor šuma niza kaskadno vezanih sklopova	558
10.2.5.	Temperatura šuma i radio mapa neba	561
10.2.6.	Temperatura šuma antene.....	562
10.3.	RADIO KANAL	563
10.3.1.	Prostiranje u slobodnom prostoru.....	565
	Fresnel-ove zone	570
10.3.2.	Dobitak antene i domet veze.....	571
	Odnos dBm i dBμV.....	576
10.3.3.	Uticaj atmosferilija na propagaciju radio-talasa.....	577
10.3.4.	Budžet radio veze	579
10.3.5.	Feding.....	580
10.3.6.	Propagacija po više putanja	585
10.3.7.	Koherentnost radio kanala.....	588
10.3.8.	Doppler-ovo širenje spektra	591
10.3.9.	Pregled osnovnih karakteristika radio kanala.....	593
10.3.10.	Modeli propagacionog slabljenja u mobilnim radio sistemima	594
	Okumura-in model propagacionog slabljenja	594
	Hata-in model propagacionog slabljenja	595
	COST-231 model	597
	RT model propagacije	598
10.3.11.	ITU-R P.1546-5.....	600
10.3.12.	ITU-R P.1238-3.....	602
10.3.13.	ITU-R P.1812	603
10.3.14.	Digitalne modulacije i feding.....	604
	Verovatnoća ispada sistema	604
	Srednja verovatnoća greške.....	605
	Združene verovatnoća ispada i srednja verovatnoća greške.....	608
10.4.	KANAL SA USMERENOM PROPAGACIJOM.....	608
10.5.	OPTIČKI KANAL	610
10.6.	DIVERSITI.....	615
10.6.1.	Prostorni prijemni diversiti.....	617
	Selektivni diversiti	617
	Maximal-Ratio kombinovanje.....	619
	Equal-Gain kombinovanje.....	622
	Square-Law kombinovanje	622
10.6.2.	Vremenski diversiti	623
10.7.	MIMO SISTEMI.....	624
10.7.1.	Modeli MIMO kanala	627
10.7.2.	Transformacija MIMO kanala u SISO potkanale	630
10.7.3.	Kapacitet MIMO kanala	631
	Deterministički frekvencijski neselektivan MIMO kanal	632
	Stohastički frekvencijski neselektivan MIMO kanal.....	633
	Predajnik nema informacije o stanju kanala.....	634
	Prijemnik ima informacije o stanju kanala.....	635
	Predajnik i prijemnik imaju informacije o stanju kanala.....	635
10.7.4.	Višekorisnički MIMO sistem.....	635
10.7.5.	Prostorno-vremenski blok kodovi.....	639

	Ortogonalni prostorno-vremenski blok kodovi	644
	Prostorno-vremenski treliis kodovi	646
	Slojeviti prostorno-vremenski kodovi	649
	10.7.6. Primena MIMO tehnologije	650
11	SISTEMI SA PROŠIRENIM SPEKTROM	652
11.1.	UVOD	652
11.1.1.	Osnovni komunikacioni problemi.....	654
	Interferencija u obliku impulsnog šuma	654
	Estimacija vremenskog kašnjenja i učestanosti nosioca.....	655
	Uticaj interferencije.....	657
11.1.2.	Koncept male verovatnoće presretanja	658
11.2.	OSNOVNE TEHNOLOGIJE PROŠIRENOG SPEKTRA	660
11.3.	TEORIJA I PRIMENA PSEUDO-SLUČAJNIH SEKVENCI.....	663
11.3.1.	Osobine pseudo-slučajnih sekvenci.....	663
11.3.2.	Realizacija generatora pseudo-slučajnih sekvenci pomoću pomeračkih registara	666
	Matematički model linearnog pomeračkog registra	667
	Karakteristični polinom.....	671
11.3.3.	Vektor stanja i fazni pomeraj pseudo-slučajne sekvence	673
11.3.4.	Korelacija binarnih pseudo-slučajnih sekvenci.....	674
	Korelacija realnih binarnih pseudo-slučajnih sekvenci	675
	Delimična korelacija pseudo-slučajnih sekvenci.....	676
11.3.5.	Pseudo-slučajne sekvence maksimalne dužine. m-sekvence.....	677
	Spektralne osobine m-sekvenci	678
	Ortogonalizacija m-sekvence	679
	Rekonstrukcija generatora m-sekvence.....	680
11.3.6.	Gold-ove pseudo-slučajne sekvence	681
11.3.7.	Kasami-jeve sekvence	684
11.3.8.	Hadamard-Walsh-ove sekvence	686
11.3.9.	Zadoff-Chu-ove sekvence	686
11.3.10.	M-arne sekvence.....	688
	M-arne jedno-koincidentne sekvence.....	688
	Konstrukcija pseudo-slučajnih sekvenci na bazi kongruentalnog računa	691
	M-arne sekvence na bazi konkateniranih prostih kodova	694
11.3.11.	Primena pseudo-slučajnih sekvenci u skrembleru	694
	Sinhroni skrembler/deskrembler	695
	Samosinhronizujući skrembler/deskrembler	695
11.4.	SISTEM PROŠIRENOG SPEKTRA SA DIREKTNOM SEKVENCOM.....	697
11.4.1.	Sistem sa direktnom sekvencom i BPSK.....	697
11.4.2.	Sistem sa direktnom sekvencom i QPSK	701
11.5.	SISTEM PROŠIRENOG SPEKTRA SA FREKVENCIJSKIM SKAKANJEM.....	702
11.5.1.	Sistem sa sporim FH	703
11.5.2.	Sistem sa brzim frekvencijskim skakanjem.....	705
11.5.3.	FHSS sistem i višekorisničko okruženje.....	706
11.5.4.	FHSS sistem i višekorisničko okruženje.....	706

11.6.	HIBRIDNI SISTEM SA DS I FH	707
11.7.	SINHRONIZACIJA PSS	708
11.7.1.	Osnovni principi sinhronizacije PSS	708
11.7.2.	Serijsko pretraživanje.....	709
11.7.3.	Detekcija signala u prisustvu aditivnog belog Gauss-ovog šuma 711	
11.7.4.	Praćenje sinhronizacije.....	713
	Delay-Lock petlja za praćenje sinhronizacije.....	714
	Tau-Dither petlja za praćenje sinhronizacije.....	716
	Petlje za praćenje sinhronizacije u sistemima sa frekvencijskim skakanjem.....	717
11.8.	POTISKIVANJE INTERFERENCIJE U SISTEMIMA SA PROŠIRENIM SPEKTROM.....	719
11.8.1.	Prijemnik sa transverzalnim filtrom	720
11.8.2.	Nelinearne metode estimacije uskojasne interferencije.....	724
11.8.3.	Neparametarske metode potiskivanja interferencije	726
11.9.	PRINCIPI OMETANJA SISTEMA SA PROŠIRENIM SPEKTROM... ..	726
11.9.1.	Ometanje DS-BPSK sistema	728
11.9.2.	Ometanje FH-BFSK sistema	730
11.10.	ISTORIJAT RAZVOJA SISTEMA SA PROŠIRENIM SPEKTROM	732
12	MULTIPLEKSIRANJE I VIŠESTRUKI PRISTUP	734
12.1.	FDM/FDMA.....	736
12.1.1.	FDM hijerarhija	738
12.1.2.	Multipleksiranje po talasnim dužinama.....	739
12.2.	TDM/TDMA	740
12.2.1.	Digitalna hijerarhija	741
	Pleziosinhrona digitalna hijerarhija.....	741
	Sinhrona digitalna hijerarhija	745
12.2.2.	Dodela TDM/TDMA slotova	747
12.3.	FDMA/TDMA	747
12.4.	POREDZENJE FDM I TDM TEHNIKA MULTIPLEKSIRANJA	749
12.5.	CDMA	752
12.5.1.	RAKE prijemnik	754
12.5.2.	CDMA u ćelijskom okruženju	757
12.5.3.	Metode jednokorisničke detekcije u sistemima sa CDMA	760
12.5.4.	FEC i CDMA	763
12.6.	DUPLEKS	764
12.7.	ALOHA TEHNIKA VIŠESTRUKOG SLUČAJNOG PRISTUPA	768
12.7.1.	Slotted ALOHA	770
12.7.2.	ALOHA sa rezervacijom	770
12.7.3.	Poredjenje S-ALOHA i R-ALOHA sistema.....	771
12.8.	SISTEMI PRENOSA SA VIŠE NOSILACA.....	772
12.8.1.	OFDM	778

	Zaštitni interval	783
	Diskretna realizacija OFDM sistema	786
	PAPR.....	787
	Prekvenzijski i vremenski pomak.....	789
12.8.2.	OFDMA.....	790
12.8.3.	SC-FDMA	793
12.8.4.	MC-TDMA	798
12.8.5.	MC-CDMA	799
12.8.6.	MC-DSCDMA	802
12.8.7.	SS-MC-MA	805
12.8.8.	MT-CDMA	806
12.9.	TELEKOMUNIKACIONE MREŽE I VIŠESTRUKI PRISTUP	808
12.9.1.	Medjusobno povezane mreže	810
12.9.2.	Slojevite mrežne arhitekture. ISO OSI referentni model.....	811
13	UWB SISTEMI	813
13.1.	Uvod	813
13.2.	REGULATORNI OKVIR I STANDARDI	819
13.2.1.	IEEE 802.15 WPAN standardi.....	821
13.3.	PRINCIPI GENERISANJA UWB SIGNALA.....	822
13.3.1.	Gauss-ovi impulsi	824
13.3.2.	Hermite-ovi impulsi	826
13.3.3.	Legendre-ovi impulsi	829
13.3.4.	Sferne funkcije.....	830
13.4.	MODULACIJA UWB SIGNALA.....	832
13.5.	VIŠESTRUKI PRISTUP	835
13.5.1.	TH-BPSK-UWB	835
13.5.2.	TH-PPM-UWB	837
13.5.3.	DS-CDMA-UWB.....	839
13.5.4.	OPMA-UWB.....	840
13.6.	MB-UWB	842
13.7.	UWB PRIMOPREDAJNIK	843
13.8.	UWB KANAL	844
13.8.1.	Propagacioni efekti.....	844
13.8.2.	Modeli propagacionog slabljenja	845
	UWB-SISO LS model propagacionog slabljenja	846
	UWB-SISO SS model propagacionog slabljenja	847
	IEEE 802.15.3 model kanala.....	847
	UWB-MIMO model kanala	850
13.9.	UWB I MIMO TEHNOLOGIJA.....	852
13.10.	PRIMENA UWB TEHNOLOGIJE.....	854
13.10.1.	UWB i pozicioniranje.....	856
14	DODACI	862
14.1.	ISTORIJA RAZVOJA TELEKOMUNIKACIJA U SRBIJI.....	862

14.2. ETSI TEHNIČKI KOMITETI	865
14.3. CLAUDE E. SHANNON: 50 GODINA OD NASTANKA TEORIJE INFORMACIJA	866
14.4. OSOBINE FOURIER-OVE TRANSFORMACIJE	867
14.5. SINGULARNE FUNKCIJE	868
14.6. ELEMENTARNI DISKRETNi SIGNALI.....	870
14.6.1. Dirac-ov impuls	870
14.6.2. Diskretna Heaviside-ova funkcija	870
14.6.3. Kosinusni niz	871
14.6.4. Kompleksni eksponencijalni niz	871
14.7. PRINCIP STACIONARNE FAZE.....	871
14.8. BESSEL-OVE FUNKCIJE	872
14.9. FUNKCIJA GREŠKE I KOMPLEMENTARNA FUNKCIJA GREŠKE	873
14.10. PROBLEM PROLASKA KROZ NULU	875
14.11. PRINCIPI TEHNOLOGIJE OPTIČKIH DISKVA.....	876
14.11.1. Princip rada CD	877
14.11.2. DVD	879
14.11.3. BRD	881
14.12. OSNOVNI PRINCIPI FIZIOLOGIJE GOVORA	882
14.12.1. Model procesa govora	882
14.12.2. Neke osobine ljudskog auditornog sistema	883
14.13. OSNOVNI PRINCIPI FIZIOLOGIJE VIDA.....	885
14.13.1. Fizičke karakteristike svetlosti.....	885
14.13.2. Osnovne karakteristike čula vida	886
14.13.3. Fotometrijske veličine.....	890
14.13.4. Osećaj sjajnosti i adaptacija oka.....	892
14.13.5. Kodiranje receptorskih signala.....	893
14.13.6. Prostorna i vremenska rezolucija	893
14.13.7. Moć zapažanja boja	894
14.13.8. CIE standardni kolorimetrijski sistem.....	896
14.14. ASCII KOD.....	898
14.15. HUFFMAN-OV KOD I SRPSKO ĆIRILIČNO PISMO	899
14.16. $\pi/4$ -QPSK	902
14.17. POLJA GALOIS-A I PRIMITIVNI POLINOMI	903
14.17.1. Koreni primitivnih polinoma i m-sekvence.....	905
14.17.2. Karakteristični polinomi m-sekvenci.....	906
14.17.3. Gold-ove sekvence i poželjni parovi m-sekvenci.....	907
14.18. WATER FILLING ALGORITAM	907
14.19. OKUMURA PREDIKCIONE KRIVE	908
14.20. ITU-R P.1546-5.....	909
LITERATURA	911

SPISAK SKRAĆENICA	922
INDEKS	931

1

UVOD

Osnovne karakteristike savremenog društva na početku 21. veka su globalizacija svetske ekonomije, brz tehnološki razvoj i konvergencija informaciono-komunikacionih tehnologija (*Information and Communications Technology*, ICT). Ovakav koncept razvoja savremenog društva podrazumeva visok stepen razvoja telekomunikacija. U toku proteklih dvadesetak godina značajne kvalitativne i kvantitativne promene u telekomunikacijama, izvršile su nemerljiv uticaj na savremeno društvo. Tome su posebno doprineli demonopolizacija, deregulacija i liberalizacija na telekomunikacionom tržištu i stalna rastuća potreba za novim servisima.

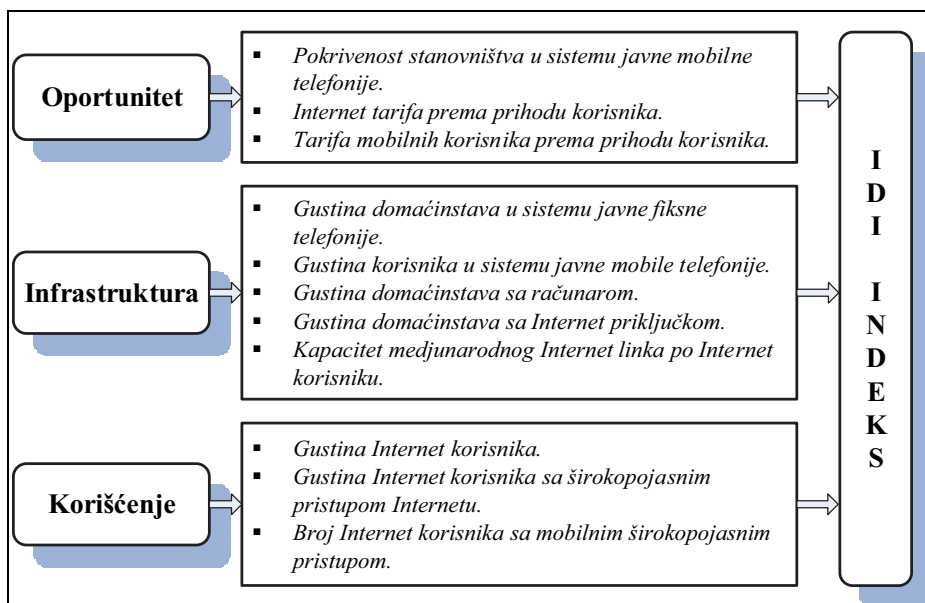
Sa današnje tačke gledišta telekomunikacije predstavljaju osnovnu potrebu savremenog društva, meru njegovog ekonomskog, socijalnog i kulturnog razvoja kao i jedinstven fenomen globalnog povezivanja, nezavisan od kulturnog, socijalnog i političkog razvoja. Savremene telekomunikacije spadaju u infrastrukturno bazirane grane i ulaganja u informacionu i telekomunikacionu infrastrukturu glavni su pokretač ekonomskog napretka. Treba, takodje, istaći da izuzetno brz razvoj telekomunikacija, odnosno ICT, u svetu ima strateški karakter i višestruki značaj na političkom, ekonomskom, socijalnom i informativnom planu. Faktor multiplikacije ICT u nacionalnom bruto dohotku veoma je visok u odnosu na druge privredne grane. Drugim rečima, telekomunikacije možemo smatrati osnovnom infrastrukturom modernog društva.

Digitalna podela i *e*-ekonomija menjaju prirodu globalne ekonomije izuzetnom brzinom, pri čemu se ona zasniva na multilateralnoj kompeticiji na konvergentnom ICT tržištu, razvoju globalne mreže povezanih računara (Internet) i niza lokalnih mreža (Intranet), globalnih personalnih telekomunikacionih sistema, aplikacija za unapredjenje obrazovanja, zdravstva, menadžmenta i elektronskih servisa i uprave (na primer telemedicina, učenje na daljinu, *e*-uprava, itd.) kao i na sve manjim troškovima komuniciranja. Jedna od osnovnih karakteristika ovih procesa je globalizacija telekomunikacionog tržišta i usluga, razvojnih politika i opredeljenja.

Preduslov koji otvara prostor uvodjenju *e*-ekonomije i smanjenju digitalne podele sveta je izgradjenost telekomunikacione infrastrukture. U cilju merenja i praćenja razvoja informacionog društva i nivoa digitalne podele medju zemljama članicama Ujedinjenih nacija, Medjunarodna unija za telekomunikacije (*International Telecommunication Union*, ITU) prati odgovarajuće indikatore razvoja ICT za domaćinstva i pojedince, [ITU, 09]. Ovi indikatori (HH1-HH12) obuhvataju: HH1-HH4 - gustinu domaćinstava sa radio prijemnikom, TV prijemnikom, telefonom i sa računarom, HH5-HH12 - gustinu pojedinaca

koji su u poslednjih 2, odnosno poslednjih 12, meseci koristili računar (sa bilo kog mesta) kao i vrstu njihovih aktivnosti na Internetu, gustinu pojedinaca koji koriste mobilni telefon, gustinu domaćinstava koja imaju pristup Internetu kao i vrstu pristupa Internetu (uskopojasni, širokopojasni, fiksni, mobilni).

Medjunarodna unija za telekomunikacije je, takodje, za potrebe merenja razvoja informacionog društva, 2007.g. započela proces formiranja jedinstvenog indeksa ICT razvoja (*ICT Development Index*, IDI), pomoću koga se meri nivo razvoja ICT tržišta u zemljama članicama Ujedinjenih nacija, nivo digitalne podele između razvijenih i zemalja u razvoju kao i nivo razvojnog potencijala ICT tržišta, [ITU, 11]. IDI se sastoji od 11 indikatora koji su grupisani u tri klastera i čija je struktura prikazana na Sl.1.1



Sl.1.1 Indikatori na osnovu kojih se određuje vrednost IDI.

Treba istaći da je razvijenost telekomunikacija u nekoj zemlji odraz njene ekonomske moći. To najbolje ilustruju godišnji izveštaji ITU, iz kojih se uočava da udeo globalnog ICT tržišta u bruto svetskom proizvodu prevazilazi tempo razvoja opšte ekonomije. Pored toga, telekomunikaciona industrija postala je u poslednjih deset godina dominantna u svetu. U grupi najvećih svetskih kompanija nalazi se veliki broj telekomunikacionih kompanija, što je posledica ne samo rasta pojedinih kompanija, već udruživanja i zajedničkih ulaganja kao bitnih komponenti procesa globalizacije. Globalizaciji telekomunikacionog tržišta i razvojnih politika i opredeljenja posebno doprinose strateški savezi između velikih kompanija. Sudeći po analizi ITU i drugih specijalizovanih agencija, telekomunikaciono tržište (uključujući infrastrukturu, opremu i servise) danas je jedno od najlukrativnijih tržišta. Pri tome, na telekomunikacionom tržištu dominantnu ulogu imaju servisi, što jasno ukazuje na pravce razvoja savremenih telekomunikacija.

Imajući u vidu raznolikost telekomunikacionih sistema i servisa, klasifikacija telekomunikacionih sistema nije jednostavna. Ipak, mogu se izdvojiti sledeće generalne oblasti razvoja modernih telekomunikacija:

- širokopojasni optički telekomunikacioni sistemi kao osnova (infrastruktura) nacionalnih, regionalnih i globalnih telekomunikacija;
- širokopojasni bežični telekomunikacioni sistemi;
- zemaljski i satelitski personalni telekomunikacioni sistemi;
- globalni satelitski telekomunikacioni sistemi posebne namene (navigacija, daljinsko osmatranje zemljinih resursa itd.);
- digitalna radio i TV difuzija.

Osnovni elementi koncepta razvoja modernih telekomunikacija su sledeći:

- demonopolizacija i liberalizacija telekomunikacionog tržišta;
- konvergencija telekomunikacionih sistema i servisa;
- korišćenje širokog opsega učestanosti (velika gustina saobraćaja, veliki protoci). Korišćenje optičke kablovske infrastrukture, kako na regionalnom tako i na globalnom planu, i sve šira primena bežičnih telekomunikacionih sistema;
- transparentnost sistema i interaktivnost, odnosno personalizacija sistema;
- globalna mobilnost;
- kvalitet servisa prema zahtevu korisnika;
- energetska efikasnost. Kao primer mogu da posluže kosmički telekomunikacioni sistemi, gde su rastojanja između komunikacionih entiteta veoma velika. Energetski sistemi na satelitima i svemirskim sondama su kompleksni i skupi. Otuda ovi telekomunikacioni sistemi treba da budu energetske efikasni;
- visoka spektralna efikasnost. Primera radi, kod radio-relejnih sistema energetska efikasnost nije ograničavajući faktor, već je bitna spektralna efikasnost. Za razliku od radio-relejnih sistema, kod sistema javne mobilne telefonije ograničavajući faktori su i spektralna i energetska efikasnost. Zahtevi za visokom spektralnom efikasnošću uslovljeni su, pre svega, potrebama za visokim kapacitetom sistema, dok energetska efikasnost utiče na izbor baterije (tehnologija baterije, dimenzije i cena);
- visoka kompleksnost i sofisticiranost sistema, koja je omogućena primenom digitalne tehnologije. Implementacija kompleksnih DSP (*Digital Signal Processing*) algoritama je jednostavna, uključujući enkripciju, kompresiju podataka, kodiranje sa mogućnošću korekcije greške, ekvalizaciju kanala itd. Kompletno procesiranje se, po pravilu, realizuje u jednom čipu, korišćenjem specijalizovanih signal procesora ili korišćenjem ASIC (*Applications Specified Integrated Circuit*) i FPGA (*Field Programmable Gate Array*) tehnologije. Tipičan primer su kognitivni radio prijemnici veoma kompleksne arhitekture, čije se karakteristike prilagođavaju zahtevima korisnika i okruženja.

Ima mnogo različitih, pa ponekad i suprotstavljenih trendova razvoja u današnjim svetskim telekomunikacijama. Ipak, nesumnjivi svetski fenomeni su današnji buran razvoj mobilnih sistema svih mogućih vrsta, sa jasnom tendencijom da će budući univerzalni personalni telekomunikacioni sistemi biti bazirani na mobilnoj osnovi, kao i sveobuhvatna primena Internet tehnologije.

Sistemi prenosa predstavljaju kičmu svakog telekomunikacionog sistema. Praktično sve interkontinentalne, kontinentalne, nacionalne, regionalne i gradske magistralne veze danas se baziraju na optičkim kablovima. Takav trend će se, svakako, nastaviti posebno kada se

ima u vidu sve veća primena multimedijalnih interaktivnih servisa.

Internet je fenomen za sebe. To nije samo telekomunikacioni fenomen, nisu u pitanju ni samo servisi, ne može se govoriti ni samo o informacionom, poslovnom, kulturnom ili bilo kom drugom pojedinačnom aspektu, ali je sigurno da Internet ima i da će imati bitan uticaj na svaki od pomenutih aspekata razvoja savremenog društva. Uticaj Interneta kao *alternativnog* svetskog telekomunikacionog sistema na ukupan razvoj telekomunikacija u narednom periodu biće sve izraženiji.

Savremene telekomunikacije predstavljaju jednu od osnovnih potreba ljudskog društva na prelazu u treći milenijum. Razvoj te oblasti je u svetskim razmerama u poslednjih nekoliko decenija bio toliko brz i toliko raznolik da je teško i napraviti adekvatnu klasifikaciju i pregled. Treba istaći da su i pouzdane prognoze relativno kratkoročne - svega nekoliko godina unapred, što je posledica kratkih generacijskih ciklusa opreme, brzog obrta kapitala, veoma brzih uspona ili padova kupovne moći pojedinih svetskih korisničkih tržišta, itd. Ipak, jedno je sigurno - za sada se u telekomunikacionom svetu ne uočavaju bilo kakvi znakovi usporenja razvoja.

1.1. ISTORIJAT RAZVOJA TELEKOMUNIKACIJA

Razvoj telekomunikacije bio je veoma brz počevši od sredine XIX veka. U novijoj istoriji razvoja ljudskog društva praktično ne postoji oblast koja se tako brzo razvijala kao telekomunikacije. U Tab.1.1.1 dat je sažet hronološki pregled najvažnijih događaja u razvoju telekomunikacija.

#	Period	Oblast
Prelude		
1.	1200BC	Homer u <i>Ilijadi</i> govori o paljenju vatre radi signaliziranja (prenos poruke o pobedi Grka u Trojanskom ratu).
2.	700BC÷300AD	Golubovi pismošoš na Olimpijskim igrama.
3.	48BC	Julius Caesar je koristio megafonski sistem.
Rani počeci		
4.	1791	Braća Chappe realizuju optički telegraf. Na visokom stubu bila je pričvršćena prečka, koja se okretala oko centra, a na njenim krajevima su se nalazile dve pokretne ruke. Na taj način bilo je moguće formirati 196 znakova. Sistem relejnih stanica postavljan je na uzvišenim, međusobno vidljivim, kotama. Između Pariza i Lila bile su postavljene 33 stanice. Prva vest poslata je u avgustu 1794. (Lil-Paris), oko 15 karaktera/min.
5.	1843	FAX, škotski fizičar Alexander Brain.
6.	1844	Samuel F.B. Morse demonstrira prvi električni telegraf. Prva poruka koja je bila prenetna telegrafom glasila je <i>What hath God Wrought?</i> Šest godina docnije već je postojala 51 telegrafska kompanija.
7.	1858	Položen je prvi transatlanski kabl. Telegrafski prenos prve poruke duge 97 reči trajao je 67min. Zbog slabe izolacije kabl je prestao sa radom već nakon 26 dana. Sledeći transatlanski kabl postavljen je 1866.g. Krajem 19. i početkom 20. veka bilo je položeno više podmorskih kablova koji su povezivali Evropu sa zapadnom hemisferom i dalekom Azijom. Primera radi, uspostavljanje veze i prenos tipičnog telegrama između

#	Period	Oblast
		Londona i Bombay-a trajao je oko 4.5min, a između Londona i British Guiane oko 22min.
8.	1861	Spojene istočna i zapadna obala Amerike – 2,250 telegrafskih ispostava na Američkom kontinentu.
9.	17.5.1865	Doneta prva Međunarodna telegrafska konvencija (<i>International Telegraph Convention</i>), 20 zemalja učesnika.
10.	1864	J.C. Maxwell objavljuje teoriju elektromagnetnog zračenja i predviđa postojanje radio talasa (period 1864÷1873)
11.	1875	Emile Baudot razvija koder/dekoder, 5bitno kodiranje.
12.	1876	<p>Alexander Graham Bell pronalazi telefon (patent U.S. No. 174,465). Prva rečenica koju je Bell izgovorio glasila je: <i>Mr. Watson, come here, I want you</i>. Odgovor njegovog saradnika Watson-a bio je: <i>If you want me, it will take me almost a week to get there</i>. Elisha Gray podnosi patent tri sata nakon Bell-a. Preko 600 patenata u narednih 11 godina. Bell nudi patent Western Union-u za \$100,000. Izveštaj kompanije na ovu ponudu glasilo je:... <i>The Telephone purports to transmit the speaking voice over telegraph wires. We found that the voice is very weak and indistinct, and grows even weaker when long wires are used. We do not see that this device will be ever capable of sending recognizable speech over a distance of several miles. Bell want to install one of their telephone devices in every city. The idea is idiotic on the face of it. Why would any person want to use this impractical device when he can send a messenger to the telegraph office and have a clear written message sent to any large city in the United States?</i></p> <p>1878.g. puštena je rad prva komercijalna telefonska centrala u gradu New Haven, Connecticut, sa 21 pretplatnikom.</p> <p>Treba istaći da postoje određene kontroverze oko toga ko je zapravo pronalazač telefona. Naime, Antonio Meucci, italijanski imigrant, radio je na razvoju telefona (govorni telegraf) još 1849.g., znatno pre Bella, ali sticajem okolnosti nije podneo pravovremeno patentni zahtev. Njegov značajan doprinos razvoju telefona potvrdila je vlada US svojom rezolucijom 11. juna 2002.g.</p>
13.	1884	Paul Nipkow patentira TV koristeći selenijumsku ćeliju i mehanički skenirajući disk.
14.	1886	22 god. posle Maxwell-a, Hertz ogledima potvrđuje njegovu teoriju elektromagnetnog polja.
Odrastanje		
15.	1892	Amon Strowger, razvija automatski telefonski sistem bez posredstva operatora. Strowger je naime otkrio da se pozivi upućeni njemu prosleđuju njegovom konkurentu, jer je na centrali, kao operator, radila supruga njegovog konkurenta. Prva automatska telefonska centrala postavljena je u gradu LaPorte, Indiana, 1879. Connelly i McTighe patentirali su sistem automatskog biranja.
16.	1893	Budimpešta, prvi sistem difuzije. Oko 400 km telefonskih linija sa 6,000 pretplatnika - muzika, vesti, berzanski izveštaji,
17.	1897	Nikola Tesla patentira princip radio prenosa. Vrhovni sud US poništio je Marconijevo pravo na radio. A. Popov (Rusija) demonstrira principe radija.

#	Period	Oblast
18.	1900	John J. Carty, NY Tel. (kasnije AT&T), instalira Pupinove kalemove, i značajno povećava domet telefonskih kablova. AT&T je platio Pupinu \$255,000 za njegov patent. Oko 20,000 telefonskih kompanija, 856,000 pretplatnika.
19.	1901	G. Marconi ostvaruje prvi transatlanski radio prenos između Cornwalla (Engleska) i St. John's-a (New Foundland). 1909.g. Marconi dobija Nobelovu nagradu.
20.	1904	Amrose Fleming konstruiše elektronsku cev, diodu.
21.	1906	Lee de Forest pronalazi elektronsku cev, triodu.
22.	1915÷1922	Obavljeni su prvi eksperimenti na transatlanskom radiotelefonskom prenosu, u području dugih talasa. 1915.g. ostvaren je prvi radio prenos govora preko Atlantika, između Virginia-e i Pariza. 14./15. januara 1923.g. ostvarena je prva radiotelefonika veza, u kratkotalasnom opsegu, između New Yorka i Londona. Ubrzo zatim, u svetu je bilo instalirano preko 100 radiotelefonika stanica. Osnovne karakteristike ovakvog načina prenosa telefonskih signala bili su loš kvalitet veza i visoka cena. 1927.g. počeo je sa radom prvi komercijalni transatlantski radiotelefonika servis između New Yorka i Londona. Cena 3min razgovora bila je vrlo visoka i iznosila je 15£. Radiotelefonika servis u pacifičkom regionu ostvaren je u periodu 1931-34.g. Edwin Armstrong 1918.g. realizuje superheterodinski prijemnik.
23.	1926	Baird u Škotskoj i Jenkins u US demonstriraju TV korišćenjem neonske cevi i mehaničkog skenirajućeg diska.
24.	1928	Zworykin patentira ikonoskop, elektronsko skeniranje.
25.	1935	Prvi telefonski poziv <i>oko sveta</i> . Oko 6,700 telefonskih kompanija. E. Armstrong demonstrira sistem sa frekvencijskom modulacijom.
26.	1938	Bell predstavlja <i>crossbar</i> komutacioni sistem.
27.	1943	Prvi <i>crossbar</i> telefonski komutacioni sistem, Philadelphia.
28.	1945	AT&T polaže 2000 milja dug koaksijalni kabl. A. Clarke predlaže koncept telekomunikacionih satelita. Prvi radiodifuzni prenos upotrebom frekvencijske modulacije.
29.	1946	Realizovan je prvi mobilni telefonski sistem. Licencu je dobila kompanija AT&T. Komutacija je obavljana manuelno, zona pokrivanja iznosila je oko 50 km, korišćena je frekvencijska modulacija sa rasterom od 120 kHz.
30.	1947	C. Shannon i prvi radovi iz oblasti teorije informacija.
31.	1950	Prvi <i>stepbystep</i> PBX sistem.
32.	1954	Sony, prvi tranzistorski radio aparat.
33.	1956	Prvi telefonski podmorski (transatlantski) kabl, 36 kanala.
34.	1958	J. Kilby, Texas Instr., razvija prvo integrisano kolo. S. Cray, Control Data Corporation, razvija prvi tranzistorizovan računar, CDC's linija računara.
35.	1959	AT&T predstavlja TH1, 1860 kanalni mikrotalasni sistem.
36.	1960	AT&T instalira prvi elektronski komutacioni sistem, Morris IL. T. Maiman (Hughes Research Laboratories) predstavlja prvi laser.

#	Period	Oblast
37.	1962	TelStar, prvi aktivni telekomunikacioni satelit.
38.	1963	Osnovan COMSAT (<i>Communication Satellit</i>). Satelitska distribucija TV programa.
39.	1964	Osnovan INTELSAT (<i>International Satellite Organisation</i>), 30 zemalja osnivača. Danas INTELSAT okuplja 144 zemlje sveta.
40.	1965	AT&T predstavlja programski kontrolisanu telefonsku centralu. COMSAT lansira satelit <i>Early Bird</i> (42 kg, 240 telefonskih kanala), koji je docnije dobio naziv INTELSAT1. Započinje komercijalno korišćenje telekomunikacionih satelita.
41.	1967	A. Viterby predstavlja algoritam za dekodiranje konvolucionih kodova.
42.	1970	AT&T predstavlja ESS#2 elektronski komutacioni sistem.
43.	1973	Predstavljen <i>The File Transfer Protocol (FTP)</i> . Harvard nagrada za PhD Boba Metcalfa. Njegova doktorska teza opisuje Ethernet.
44.	1976	Početak <i>PublicKey Cryptography</i> -je, W. Diffie, M. Hellman, R. Rivest, A. Shamir i A. Adleman.
45.	1976	Digitalni radio. Sistem višestrukog pristupa na bazi vremenske raspodele TDMA (<i>Time Division Multiple Access</i>).
46.	1981	Hayes predstavlja 300 bps modem. IBM predstavlja PC avgusta 1981.
47.	1981	Skandinavski sistem javne mobilne telefonije NMT (<i>Nordic Mobile Telephone</i>).
48.	1983	Američki sistem javne mobilne telefonije AMPS (<i>Advanced Mobile Telephone System</i>).
49.	1988	Kompletiran je prvi transatlanski optički kabl, TAT8 kapaciteta 40,000 telefonskih linija. 1992. postavljen je kabl TAT9, kapaciteta 80,000 telefonskih linija, a 1996. položen je kabl TAT12 sa 300,000 telefonskih linija.
50.	1982-1990	Razvijen je sistem javne mobilne telefonije druge generacije, GSM (<i>Global System for Mobile</i>).
51.	1992	Predstavljen <i>World Wide Web (WWW)</i> . CERN fizičar Tim Berners Lee.
52.	1991÷1993	IS95, US sistem javne mobilne telefonije sa CDMA tehnologijom.
53.	1996	Kablovski modem.
54.	1996	ANSI definiše ADSL (<i>Asymmetrical Digital Subscriber Loop</i>). Rockwell predstavlja 56 kbps modem chip set.
55.	1998	V.90 56K standard. Većina 56K modema se softverski nadograđuje.
56.	1998÷1999	IRIDIUM satelitski sistem javne mobilne telefonije.
57.	2000 ...	Prva elektronska komunikacija između nervnih sistema ljudi (profesor K. Warwick, University of Reading, England. 2000.). Intenzivan razvoj bežičnih telekomunikacionih sistema. Tokom 2000.g. lansiran je prvi komercijalni GPRS (<i>General packet radio service</i> , GPRS) servis u GSM sistemu javne mobilne telefonije, 2001.g. prvi UMTS (<i>Universal Mobile Telecommunications System</i> , UMTS) na bazi tehnologije proširenog spektra (<i>Wideband Code Division Multiple Access</i> , W-CDMA), EDGE (<i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i> , EDGE) servis brzog prenosa podataka u GSM sistemu 2003.g., da bi 2005.g. i 2007.g. počeli sa radom HSDPA (<i>High-Speed Downlink Packet</i>

#	Period	Oblast
		<p><i>Access</i>, HSDPA) i HSUPA (<i>High-Speed Uplink Packet Access</i>, HSUPA) servisi, respektivno. Krajem 2011.g. broj korisnika u GSM sistemu je preko 6 milijardi.</p> <p>Ovaj period karakteriše brz razvoj širokopoljnih tehnologija za pristup Internetu. Tokom 2002.g počela je sa radom Evropska gigabitna mreža GEANT (<i>Gigabit European Advanced Network Technology</i>, GEANT) koja povezuje preko 8,000 instituta i laboratorija sa preko 40 miliona istraživača. Široka primena Peer-to-Peer (P2P) tehnologija - tipični primeri su Internet telefonija (<i>Skype</i>) i deljeni pristup podacima.</p> <p>Definisan je niz novih standarda iz grupe IEEE802.11.x standarda sa ciljem da se omogući bežični pristup sa protocima i do 600 Mb/s u okviru lokalnih bežičnih mreža (<i>Wireless Local Area Network</i>, WLAN). Markentiški ove mreže poznate su pod nazivom Wi-Fi. Standard IEEE802.20 razvijen je za potrebe mobilnog širokopoljnog pristupa (maksimalni protok, 80 Mb/s , maksimalna brzina kretanja vozila 250 km/h).</p> <p>Tokom 2004.g. japanska kompanija NTT DoCoMo predložila je novi standard LTE (<i>Long Term Evolution</i>, LTE) za sistem javne mobilne telefonije. LTE sistem je počeo sa radom 2009.g (kompanija TeliaSonera, Oslo & Stockholm). LTE je zasnovan na GSM/EDGE i UMTS/HSPA tehnologiji. Standard je razvijen od strane 3GPP (<i>3rd Generation Partnership Project</i>, 3GPP). Prema specifikacijama standarda (3GPP, Release 9) vršni protoci u downlink-u i uplink-u su do 300 Mb/s, odnosno 75 Mb/s, respektivno. LTE omogućava skalabilno korišćenje propusnog opsega (od 1.4 MHz do 20 MHz), kao i FDD (<i>Frequency Division Duplexing</i>, FDD) i TDD (<i>Time Division Duplexing</i>, TDD) tehnologiju višestrukog pristupa.</p> <p>Tranzicija sa analognih TV sistema na digitalne.</p>

Tab.1.1.1.1 Hronologija razvoja telekomunikacija.

U Dodatku je prikazan, u osnovnim crtama, razvoj telekomunikacija u Srbiji.

1.2. MEDJUNARODNE ORGANIZACIJE U OBLASTI TELEKOMUNIKACIJA

Hronologija razvoja medjunarodnih organizacija u oblasti telekomunikacija je sledeća:

- 1865.g. u Parizu osnovana je Medjunarodna unija za telegrafiju, od strane 20 evropskih država, u cilju definisanja zajedničkih standarda u oblasti telegrafskog saobraćaja. Kneževina Srbija bila je jedan od 20 inicijatora i osnivača. Usvojena je prva ITU Konvencija, čime je započela medjunarodna saradnja u oblasti telekomunikacija;
- 1868.g. u Beču održana je prva telegrafaska konferencija. Odlučeno je da sedište Unije bude u Bernu;
- 1885.g. na telegrafskoj konferenciji u Berlinu, donete su prve preporuke za medjunarodni telefonski saobraćaj;
- 1906.g. u Berlinu održana je medjunarodna konvencija opunomoćenika o radio-telegrafiji. Usvojena je prva konvencija o radio-telegrafiji, kao i preporuke za