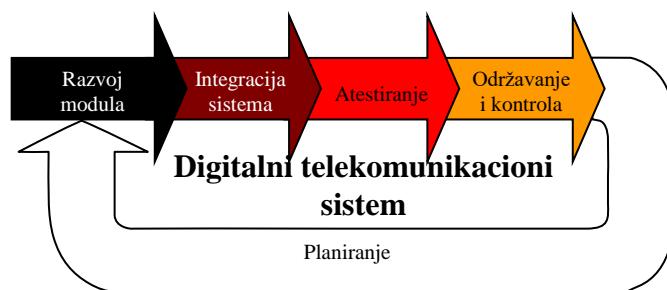


1. Osnove merenja u digitalnim telekomunikacijama

Pod pojmom merenja u digitalnim telekomunikacijama podrazumevaju se svi poslovi i zadaci vezani za: testiranje komunikacione opreme i instalacija, nadzor i održavanje sistema, logičku analizu signala, kao i prikupljanje, statističku obradu i ekspertizu podataka o funkcionisanju sistema. Merenja definisana na ovakav način čine integralni deo svakog segmenta savremenih digitalnih telekomunikacija i sa tog stanošta, ne može se govoriti o postojanju izdvojenog, autonomnog metrološkog podistema u okviru sistema digitalnih telekomunikacija. Po pravilu su nadležnosti i funkcije koje se odnose na merenja rasplinute u okviru drugih podistema i službi i prilagođene su njihovim specifičnostima.



Slika 1.1. Životni ciklus digitalnog komunikacionog sistema

Jedan od osnovnih faktora koji definiše metodologiju merenja u digitalnim telekomunikacijama jeste "životni ciklus" sistema. Prema modelu sa slike 1.1, mogu se razlikovati sledeće faze "životnog ciklusa":

1) Razvoj pojedinih funkcionalnih modula (*module development*)

Zahteva veoma razvijenu metodologiju i mernu opremu za testiranje kompletogn hardvera i softvera. Neki od alata i metoda koji se ovde koriste primenjuju se i u narednim fazama.

2) Integracija sistema (*system integration*)

Module je potrebno integrisati u jedinstvenu celinu. Merenja koja se pri tome sprovode, odnose se na ispitivanje njihove funkcionalnosti u okviru sistema i izvode se na dva načina:

- na internim priključcima (između modula) simulacijom nedostajućih delova (*white-box testing*)
- na spoljašnjim priključcima (preko stvarnih interfejsa) (*black-box testing*)

Zbog neprestanog otklanjanja grešaka, ove testove je potrebno ponavljati više puta, pa je poželjno uvođenje automatizacije radi redukcije potrebnog vremena za testiranje.

3) Atestiranje (*system validation/acceptance*)

Proces integracije završava se testovima ispravnosti funkcionisanja celog sistema (npr. dostupnost mreže i dostupnost pojedinih službi). Ukoliko ih izvodi ovlašteni operater u sistemu ovaj tip merenja naziva se atestiranje i predstavlja jedan od osnova za zasnivanje pretplatničkog odnosa. Većina testova obavlja se samo na spoljašnjim priključcima (*black-box testing*), a ispituju se funkcionalnost, usklađenost sa standardima i performanse sistema.

4) Održavanje i kontrola (*operational maintenance and control*)

Održavanje i kontrola spadaju u nadležnosti operatera mreže. Tri osnovne grupe zadatka koje se, pri tome, pred njih postavljaju su nadzor (*monitoring*), u cilju otkrivanja neispravnosti u sistemu, testiranje kvaliteta usluga (*quality of service - QoS*) i lokalizacija i otklanjanje kvarova u slučaju da su, prilikom nadzora ili kontrole kvaliteta usluga, ustanovljeni problemi, ili da se aktivrao neki od sistemskih alarma automatskog nadzora.

5) Analiza i planiranje

Rezultat brojnih testova koji se neprestano izvode u ovako složenim sistemima, jeste konstantan priliv povratnih informacija o njihovom funkcionisanju i osobinama. Statističkom obradom prikupljenih podataka i izdvajanjem i analizom relevantnih parametara, omogućuju se planiranje, razvoj i unapređivanje usluga, čime se zatvara "životni ciklus" sistema i omogućava njegov dalji tok.

Metodologije merenja koje proizilaze iz modela na slici 1.1 su:

- **Testovi usklađenosti sa standardima** (*conformance tests*)

Služe za utvrđivanje stepena usaglašenosti parametara ispitivanog objekata sa odredbama odgovarajućeg standarda. Metodologija ovih testova propisana je standardom ISO-9646.

- **Testovi funkcionalnosti** (*functional tests*)

Služe za ispitivanje svake od funkcija sistema. Kako se tom prilikom ispituju i nestandardne karakteristike sistema, ovi testovi su znatno kompleksniji od testova usaglašenosti sa standardima, jer su nestandardne karakteristike, po pravilu, veoma složene. Osim toga, i broj merenja, koja se pri tome izvode, daleko je veći.

- **Testovi performansi** (*performance tests*)

Odnose se na analizu ponašanja sistema u funkciji vremena i raspoloživih resursa. Rezultati ovih testova u znatnoj meri zavise od trenutnog opterećenja (saobraćaja) na mreži, pa merna oprema koja se koristi u tu svrhu mora biti u stanju da u kanalu generiše velika opterećenja od strane virtualnih korisnika.

- **Analiza protokola** (*protocol analysis*)

Omogućuje uvid u sadržaj primjenjenog protokola dekodovanjem poruka u skladu sa definisanim specifikacijama. S obzirom da su standardi koji se odnose na protokole, definisani posebno za svaki od OSI (*Open System Interconnection*) nivoa, analiza protokola je orijentisana ka nivoima, tj. objekat testiranja je odgovarajući OSI nivo.

Protokol je skup pravila po kojima se odvija komunikacija i koja rešavaju sledeće grupe problema:

- 1) uokviravanje – određuju se rasporedi bita koji čine zaglavljje određenog sloja OSI referentnog modela i bita koji čine informacioni sadržaj poruke (korisne podatke)
- 2) kontrola redosleda – numerisanje poruka u cilju sprečavanja njihovog gubljenja ili promene redosleda, kao i zahteva za ponovnim slanjem
- 3) transparentnost – podatke iz zaglavljiva koje umeće protokol višeg nivoa OSI modela, niži nivo ne sme da prepozna kao podatke iz svog zaglavljiva
- 4) kontrola komunikacione linije – određivanje trenutaka kada je predajnik spreman za slanje, a prijemnik za prijem poruka
- 5) početak komunikacije
- 6) detekcija i korekcija grešaka – otkrivanje grešaka u frejmovima i preduzimanje akcija za njihovo otklanjanje
- 7) ostali problemi – rešavanje problema nastalih u situacijama kada predajnik završi ili prekine slanje

Protokoli se dele u tri kategorije, u zavisnosti od veličine frejma: znakovno orijentisani (posebni znaci za početak i kraj poruke), bajtno orijentisani (u zaglavljiju sadrže podatke o nizu bajtova koji slede) i bit orijentisani (umeću tačno određenu sekvensu bita koja razdvaja jedan paket od drugog). Semantiku protokola čini niz definisanih operacija koje se nazivaju **handshake**. Protokol se može realizovati kao **hardverski** i **softverski**. Hardverska realizacija podrazumeva postojanje odvojenih linija za *handshake* i linije za prenos bitova poruke. Softverska realizacija umesto linija za *handshake* koristi odgovarajuće simbole i liniju za prenos podataka, tako da su umesto tri, dovoljne dve linije za komunikaciju. U ovom slučaju prijemno kolo proverava svaki prispeli znak i utvrđuje da li je to dogovoren znak za signalizaciju ili znak poruke. Strana koja želi uspostaviti komunikaciju, kao indikator šalje odgovarajući znak preko linije podataka i čeka odgovor od prijemne strane.

Analiza protokola je osnovni metod koji se primjenjuje za dijagnostiku paketski orijentisanih komunikacija u održavanju lokalnih (LAN) i globalnih (WAN) mreža. Merni uređaj koji obavlja ovu funkciju zove se **protokola analizator** (*protocol analyzer*). Njegove osnovne namene su: dobijanje opšte statistike, dekodovanje protokola i selektivno praćenje (filtriranje) ulaza.

Zbog nametanja potrebe za brzom obradom podataka, obavezan sastavni deo svakog analizatora protokola predstavlja prenosni računar sa odgovarajućom softverskom podrškom. Dobar analizator treba da omogući operateru lak i brz uvid u ponašanje sistema, komfor u radu i mogućnost nadgradnje i reprogramiranja.

1. Osnove merenja u digitalnim telekomunikacijama

1) Opšta statistika

Statistička obrada podataka se, u najvećoj meri, zasniva na softverskoj podršci i zbog toga predstavlja najnstandardniji deo svakog analizatora protokola. Ipak, tri osnovne statistike mogu se naći u svakom uređaju za analizu:

- **Iskorišćenost propusnog opsega kanala (*utilization*)**

Izračunava se kao broj bajtova u sekundi podeljen sa maksimalnim raspoloživom veličinom frekventnog opsega. Može se pratiti grafički ili statistički. Iskorištenost propusnog opsega služi kao pokazatelj normalnih parametara funkcionisanja mreže. Ova statistika sama po sebi ne znači mnogo, ukoliko se operater na proizvoljan način kači na mrežu i obavlja analizu. Potrebno je izabrati referentne tačke u sistemu i na njima, tokom dužeg intervala, vršiti opservaciju. Obično se analiziraju vršna i prosečna vrednost iskorišćenosti kanala u toku dana.

- **Broj frejmova u sekundi (*frames per second*)**

Kao i prethodna statistika, i broj frejmova u sekundi posmatra se u vidu vršne i prosečne dnevne vrednosti.

- **Veličina paketa (*packet size*)**

Veličina paketa jedan je od osnovnih pokazatelja funkcionisanja komunikacionog sistema. Zajedno sa iskorišćenjem frekventnog opsega i brojem ramova u sekundi, omogućuje izračunavanje efikasnosti korisnika, protokola, aplikacije i rutera. Smatra se da je, zbog fiksног broja bita u okviru svakog protokola, poželjno imati što veće pakete, kako bi se redukovao prenos neinformacionog sadržaja (*handshake information*). Ipak, preveliki paketi onemogućuju efikasnu paketsku komutaciju čime se smanjuje propusna moć sistema.

2) Dekodovanje protokola

Protokol predstavlja standard po kome se vrši formatiranje i prenos informacija kroz mrežu. Analiza protokola je proces ekstrakcije, dekodovanja i pregleda informacionih paketa u konkretnoj mrežnoj arhitekturi i najčešće se rešava hardverski u okviru odgovarajućeg uređaja. Operateru obično stoje na raspolaganju dve opcije: detaljna i opšta analiza paketa. Detaljna analiza služi za pregled ramova bit po bit, nakon čega se korisniku informacija prezentuje u razumljivom i prepoznatljivom obliku. Čak i najkomplikovaniji protokoli, počev od četvrtog, transportnog OSI nivoa, pa sve do sedmog nivoa prezentacije i aplikacije, mogu se dekodovati na ovakav način. Opšta analiza obično se sastoji od prikaza adresa i sadržaja najviših nivoa referentnog OSI modela. U opštoj analizi, kombinovanoj sa odgovarajućim filtrima, leži prava snaga analizatora protokola jer je njome omogućeno izuzetno efikasno određivanje parametara sistema, bez potrebe da se dugotrajno i mukotrпno analizira velik broj, najčešće, irrelevantnih podataka.

Danas je u svetu razvijeno mnoštvo protokola, čija kompleksnost neprestano nastavlja da se uvećava, uzrokujući ozbiljne probleme usled međusobne nekompatibilnosti. Najčešći razlozi ove nekompatibilnosti su:

- različite interpretacije standarda i specifikacija vezanih za jedan isti protokol,

1. Osnove merenja u digitalnim telekomunikacijama

- širok opseg raspoloživih opcija, koji dovodi do neusaglašenosti između sistema i korisnika,
- složenost protokola, koja rezultira greškama od strane proizvođača.

Jedan od mogućih načina za prevazilaženje ovih problema jeste upotreba više različitih tipova analizatora protokola i intelligentnog softvera za debagovanje.

3) Filtriranje

Postavljanje odgovarajućih filtara na ulaz u sistem omogućuje izdvajanje relevantnih informacionih segmenata iz sistema i skraćuje potrebno vreme za analizu. Hardversko filtriranje sprečava nepotrebno nagomilavanje velikog broja podataka u baferima uređaja čime se, prividno, povećava kapacitet raspoložive memorije i produžava maksimalan dozvoljen interval nadzora. Ovo je izuzetno važno kod terenskih uređaja koji imaju ograničene resurse, pre svega kapacitet memorije. Dva protokol analizatora mogu imati potpuno identične performanse ako jedan poseduje više memorije, a drugi bolje hardverske filtre. Razlika je samo u tome što je analizator sa većim memorijskim kapacitetom znatno skuplji.

Alternativno, podaci se mogu filtrirati i softverski. Softversko filtriranje protokola obezbeđuje mehanizme za efikasnu pretragu i sortiranje prikupljenih podataka. Cena kvalitetnog softvera za analizu protokola može udvostručiti cenu protokol analizatora, ali predstavlja značajnu uštedu prilikom održavanja i nadzora u sistemu.

• Testovi kvaliteta usluga

Kvalitet usluga (*QoS - Quality of Service*) definisan je kao nivo performansi na pretplatničkoj petlji prilikom korišćenja bilo koje od raspoloživih usluga. Ovaj tip testova ima zadatak da pruži uvid u korisnikovo zadovoljstvo (ili nezadovoljstvo) primljenim uslugama i predstavlja bitan pokazatelj u fazi planiranja i razvoja digitalnog komunikacionog sistema.

Jedna od mogućnosti procene nivoa QoS je sprovođenje anketa među korisnicima o zadovoljstvu primljenim uslugama. Iako, na prvi pogled, veoma jednostavno i objektivno, ovo je inženjerski potpuno neprihvatljivo rešenje iz sledećih razloga:

- Postoji prirodna odbojnosc korisnika prema popunjavanju ankete.
- Treba predvideti velik broj pitanja kako bi se predvidele i opisale sve moguće situacije i problemi oko korišćenja servisa. Sve ono što anketa ne obuhvati, ostaje kao potencijalni problem za budućnost. Ovo dovodi do eksplozije dužine trajanja ankete po jednom korisniku.
- Tehnička neobrazovanost korisnika zahteva jednostavnu formulaciju pitanja koja ne smeju sadržati usko stručne tehničke pojmove. Time anketa postaje više značna i često neodređena, a korisnici ne mogu ukazati na suštinu problema, već samo na njegove manifestacije.
- Korisnici često nisu upoznati sa svim uslugama (servisima) koji su im na raspolaganju.
- Postoji velika mogućnost zlonamernog ili nemarnog popunjavanja ankete, pa čak i do grubih previda od strane korisnika, zbog čega je neophodno uzeti dovoljno velik uzorak populacije kako bi se statistički suzbila sva velika pojedinačna odstupanja.

1. Osnove merenja u digitalnim telekomunikacijama

- Prikupljanje i obrada podataka traju dugo, pa reakcija operatera ne može nikada biti pravovremena (dolazi do akumulacije nezadovoljstva) i mora se izvoditi u mnogo iteracija od kojih svaka zahteva ponovno izvođenje i obradu ankete.
- Anketiranje populacije angažuje značajne ljudske resurse i konzumira puno vremena, što ga čini ekonomski neopravdanim.

Kako je pojam "korisnikovo zadovoljstvo" veoma apstraktan, njavažniji zadatak sistema kvaliteta usluga je pronalaženje kriterijuma i mernih postupaka koji bi omogućili da se procena obavi automatski, pravovremeno i ekonomično na jednoznačan i objektivan način. Ovo se najčešće postiže izborom *odgovarajućeg* skupa parametara koji se konstantno prate i drže u granicama za koje se *smatra* da obezbeđuju željeni kvalitet usluga. Izbor ovog skupa parametara nije jednostavan zadatak i bitno se razlikuje od jedne komunikacione tehnologije do druge. Najvažniji kriterijum za izbor parametara jeste subjektivna procena operatera u mreži na osnovu preporuka, standarda, iskustva, ali i politike razvoja datog telekomunikacionog preduzeća. U nekim komunikacionim mrežama situacija po operatera je nešto jednostavnija, jer su međunarodnim standardima već propisani nivoi performansi bez kojih linija ne može dobiti atest, a koji obezbeđuju neki garantovani (minimalan) nivo kvaliteta usluga. Nažalost mnogo je veći broj mreža i usluga kod kojih ovo nije moguće obezbediti, jer se kombinuje više standarda koji se dopunjuju po OSI nivoima, a koji imaju različito defnisan QoS ili ga uopšte nemaju. Tipičan primer je VoIP (*Voice over Internet Protocol*) kod koga se kombinuju *best effort* IP protokol bez QoS-a sa jedne strane i SIP (*Session Initiation Protocol*), odnosno H.323 standard sa nepouzdanim UDP (*User Datagram Protocol*) protokolom koji zahteva rad u realnom vrenu, sa druge strane. Ove kontradikcije dovode do toga da je nemoguće unapred predvideti performanse sistema, naročito u uslovima povećanog saobraćaja na mreži. Kako je, zbog ovih neusaglašenosti, praćenje QoS u VoIP od izuzetnog značaja, a standardima nije obuhvaćen QoS (osim RTP/RTCP - *Real-time Transport Protocol/Real-time Streaming Protocol*) protokola koji se nalaze tek na 5. OSI sloju), do danas je razvijen izuzetno velik broj metoda praćenja najrazličitijih parametara za koje se smatra da karakterišu QoS u VoIP-u.

Neki od najčešćih parametara koji se korite za opis QoS-a u gotovo svim komunikacionim tehnologijama su:

- dostupnost mreže i pojedinih službi (*accessibility*)
- postojanost veze (*retainability*)
- performanse saobraćaja (*trafficability performance*)
- performanse prenosa (*transmission performance*)
- kašnjenje i neodređenost pristizanja paketa (*packet delay and jitter*)
- korektnost tarifnog sistema (*charging/billing integrity*)

Iako poslednji parametar ne spada u domen telekomunikacija, on je zapravo i najvažniji jer omogućava opstanak preduzeća na tržištu, bez čega je bi ceo sistem kvaliteta usluga bio besmislen. Ukoliko kompleksne procedure analize i popravljanja nivoa QoS-a čine usko grlo u sistemu, tada se operateri mogu okrenuti alternativnom rešenju i, umesto praćenja i analize parametara koji čine QoS, mogu povećati protok u nadi da će time biti popravljene performanse. Iako se ovo može činiti kao neekonomično rešenje, jer resursi većinu vremena ostaju neiskorišćeni, danas je ovo najpopularniji metod obezbeđivanja visokog nivoa kvaliteta usluga u svim zemljama u razvoju.

1.1. Komunikacione mreže

U pogledu pokrivanja geografskog područja određene veličine razlikujemo tri tipa mreža. To su LAN (*Local Area Network*), MAN (*Metropolitan Area Network*) i WAN (*Wide Area Network*). Nije, međutim, uvek moguće precizno klasifikovati određenu mrežu u odgovarajući tip, s obzirom da se njihove granice preklapaju. Ograničenja koja se odnose na svaki od tipova mreža mogu se ulosno definisati u odnosu na pokrivena rastojanja:

LAN < 5 km

5 km < MAN < 25 km

WAN > 25 km.

Topologije mreža

Topologiju mreže diktiraju rastojanja koja je potrebno pokriti. Tako je npr. topologija WAN mreža diktirana geografskim uslovima (koncentracijom najvećeg broja uređaja i očekivanim intenzitetom saobraćaja između pojedinih čvorova u mreži). Veoma često se iz ekonomskih razloga (efikasnije korišćenje kablova), javljaju neregularne strukture. Topologija LAN mreža je, sa druge strane, daleko jasnije definisana jer je ukupna efikasnost sistema značajnija od ekonomične potrošnje kablova. Linijska, prestenasta i zvezdasta struktura su najčešći primeri LAN topologija.

Medijumi za prenos

Izbor fizičkog medijuma za prenos diktiran je zahtevanom dužinom linije, pouzdanošću i brzinom prenosa. Najčešće korišćeni prenosni medijumi (navedeni u rastućem redosledu u odnosu na kompleksnost i performanse) su:

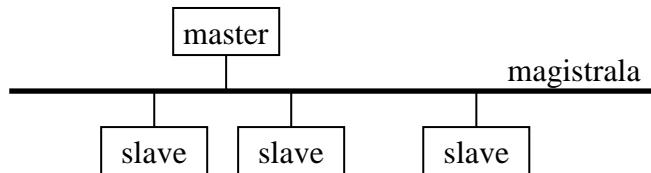
- dvožični pravi neoklopjeni bakarni provodnici (npr. AS bus)
- dvožične bakarne neoklopljene parice
- dvožične oklopjljene bakarne parice (npr. PROFIBUS)
- koaksijalni kabel (npr. industrijski ethernet)
- optički kabel (PROFIBUS / industrijski ethernet i sl.).

Tehnike pristupa

S obzirom da se kroz liniju u jednom trenutku može prenositi samo jedna poruka (ukoliko se ne koristi neki specijalan način modulacije), mora postojati mehanizam za utvrđivanje koji od uređaja mogu koristiti prenosni kanal. Za broj uređaja koji "slušaju" poruku važno je samo da on ne pređe gornju granicu datu maksimalnom snagom signala. Pristup kanalu ili magistrali kontrolisan je takozvanom tehnikom pristupa. Postoji nekoliko kategorija tehnika pristupa. Osnovna podela je na centralizovane i decentralizovane. Decentralizovane tehnike pristupa dele se još na determinističke i stohastičke.

- Master/slave tehnika pristupa

Tipična centralizovana tehnika pristupa je tzv. master/slave tehnika. *Master* uređaj upravlja linijom za prenos i šalje *slave* uređajima podatke (*polling*¹) i komande za dozvolu slanja. Direktna komunikacija između *slave* uređaja nije moguća. Prednost ove tehnike je jednostavna i efikasna **kontrola** komunikacionog kanala.



Slika 1.2. Primer master/slave konfiguracije

- Tehnika pristupa prosleđivanjem simbola (*Token Passing*)

Token passing je decentralizovana, deterministička tehnika pristupa u kojoj fiksna sekvenca bita (*token*²) putuje kroz mrežu kao indikator dozvole slanja. Uredaj koji je vlasnik ove sekвенце ima dozvolu za slanje, ali mora prestati sa slanjem u određenom vremenskom intervalu. Ovim se obezbeđuje da ne dođe do prekoračenja maksimalnog vremena cirkulacije sekvenice. Ukoliko se ova tehnika koristi u linijskoj topologiji, mreža se često naziva **token bus**. Ako je mreža fizički realizovana u obliku prestena naziva se **token ring**.

Kada se u *token bus* ili *ring* mrežu poveže više *master* i *slave* uređaja, samo *master* uređaji mogu primati *token* sekvencu

- CSMA/CD tehnika pristupa

Najvažnija stohastička tehnika pristupa je CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) standardizovana u IEEE 802.3. Kod ove tehnike bilo koji uređaj može slati u bilo kom trenutku, pod uslovom da neki od uređaja već ne šalje podatke. Konflikti se javljaju u situacijama kada dva uređaja počnu prenos u istom trenutku u kome je linija slobodna. Zahvaljujući nadzoru linije oba uređaja detektuju neregularnu situaciju, prekidaju sa prenosom i pokušavaju ponovo nakon slučajnog intervala čekanja. Linije koje koriste CSMA/CD (npr. industrijski ethernet) obično koriste brzine prenosa od 10 Mbps ili veće.

Ukoliko vršimo prenos podataka između dva uređaja preko zajedničke mreže, neophodno je definisati protokol i tehnike pristupa druge informacije, kao što je npr. uspostavljanje veze, takođe moraju biti specificirane. Za potrebe unificiranog pristupa mreži definisan je tzv. OSI (*Open System Interconnection*) referentni model koji se sastoji iz 7 nivoa.

¹ engl. polling - prozivanje

² engl. token – znak, simbol

1.2. OSI Referentni model

OSI (*Open System Interconnection*) referentni model definiše slojeve preko kojih uređaji uspostavljaju, održavaju i raskidaju vezu. Zbog ovoga se kaže da uređaji komuniciraju na nekom od OSI referentnih nivoa. Samo identični nivoi mogu međusobno razmenjivati podatke. Načini na koji se pojedini slojevi realizuju u praksi nisu definisani OSI referentnim modelom. Često se dešava da se pojedini slojevi izostave u praktičnoj realizaciji radi postizanja veće brzine signalizacije. To je naješće slučaj sa slojevima 3,4,5 i 6, jer su u slojeve 1,2 i 7 ugrađene suštinski neophodne funkcije za prenos.

Sa stanovište merenja majznačajniji su slojevi 1, 2 i 4, jer oni definišu pouzdanost i ispravnost komunikacije. Sloj 1 definiše fizičke uslove kao što su naponski i strujni nivoi. U sloju 2 definisan je mehanizam pristupa i adresiranja, koji omogućuje da je samo jedan uređaj šalje podatke kroz mrežu u određenom trenutku. Pouzdanost prenosa i konzistentnost podataka obezbeđeni su funkcijama 4. – transportnog sloja. Osim što upravlja transportom, 4. sloj takođe obavlja zadatke kontrole toka, usporavanja i potvrde uspešnog prijema. 7. – aplikacioni sloj sadrži komunikacione servise (npr. SS7 funkcije).

Tabla 1.1. Slojevi OSI referentnog modela

Sloj	Naziv	Funkcija	Svojstvo
7	Aplikacioni sloj (Application layer)	Obezbeđuje komunikacione servise koji zavise od aplikacije	Komunikacioni servisi, npr. Read/Write Start/Stop
6	Sloj prezentacije (Presentation layer)	Prezentacija podataka: konvertuje standardan format podataka u format koji je specifičan za datu platformu	Običan jezik
5	Sloj sesije (Session layer)	Sinhronizacija: otvaranje, zatvaranje i nadzor sesije	Koordinacija sesije
4	Transportni sloj (Transport layer)	Uspostavljanje / raskidanje veze, formiranje, sortiranje i ponavljanje paketa	Prenos paketa bez grešaka
3	Mrežni sloj (Network layer)	Adresiranje drugih mreža, ruting, kontrola toka	Komunikacija između dve mreže
2	Sloj veze podataka (Data link layer)	Tehnike pristupa: granice blokova podataka, prenos podataka bez greške, detekcija grešaka, korekcija grešaka	CRC provera CSMA/CD token
1	Fizički sloj (Physical layer)	Fizički aspekti prenosa podataka, medijum za prenos, brzina signalizacije, definisanje električnih, mehaničkih i funkcionalnih parametara linije	Dvožični kabel, koaksijalni/triaksijalni kabel, optički kabel, atmosfera

1. Fizički sloj

Ovaj sloj obezbeđuje prenos bita kroz određeni fizički medijum u redosledu u kome pristižu iz drugog sloja. Njime su definisani fizički aspekti prenosa podataka, medijum za prenos, brzina signalizacije, električni, mehanički i funkcionalni parametari linije.

2. Sloj veze podataka

Ovaj sloj odgovoran je za prenos niza bita između dva sistema. Ovo uključuje detekciju grešaka, njihovo otklanjanje i izveštavanje o nastalim greškama. U lokalnim mrežama, sloj veze podataka garantuje ekskluzivan pristup medijumu za prenos. Zbog ovoga je sloj podeljen u dva podsloja: sloj za kontrolu pristupa medijumu (*Medium Access Control - MAC*) i sloj za logičku kontrolu veze (*Logic Link Control - LLC*), koji su još poznati pod nazivom slojevi 2a i 2b. Najpoznatiji standardi za MAC podsloj su: IEEE 802.3 (*Ethernet*, CSMA/CD), IEEE 802.4 (*token bus*) i IEEE 802.5 (*token ring*). Standard IEEE 802.2 se najčešće koristi za LLC podsloj.

3. Mrežni sloj

Ovaj sloj zadužen je za prenos podataka između dva krajnja komunikaciona uređaja. Krajni uređaji prenose i primaju poruke koje mogu proći kroz više sistema. U tom slučaju mrežni sloj obezbeđuje mehanizme rutiranja.

4. Transportni sloj

Transportni sloj obezbeđuje korisniku pouzdanu vezu od-kraja-do-kraja. Servisi ovog sloja uključuju uspostavljanje veze, transfer podataka i raskidanje veze. Korisnik servisa može zahtevati odgovarajući kvalitet usluga (*Quality of Service - QoS*). Kvalitet usluga, odnosno servisa može biti brzina prenosa ili verovatnoća rezidualne greške (greške koja nije posledica pogrešno prenetih bita, već neispravno prenetih paketa).

5. Sloj sesije

Glavni zadatak sloja sesije je sinhronizacija aplikacija koje komuniciraju. Servisi sloja sesije omogućavaju uspostavljanje sinhronizacionih tačaka u okviru duže transmisije, kako se, u slučaju prekida veze, komunikacija ne bi morala u celini ponoviti.

6. Sloj prezentacije

Sistemi različitih tipova koriste inicijalno različite jezike. Prezentacioni sloj prevodi različite jezike koji se koriste u komunikaciji na jedinstven jezik sa apstraktnom sintaksom.

7. Aplikacioni sloj

Aplikacioni sloj sadrži servise specifične za date komunikacione aplikacije. Broj aplikacija je velik, pa je teško uspostaviti jedinstven standard.

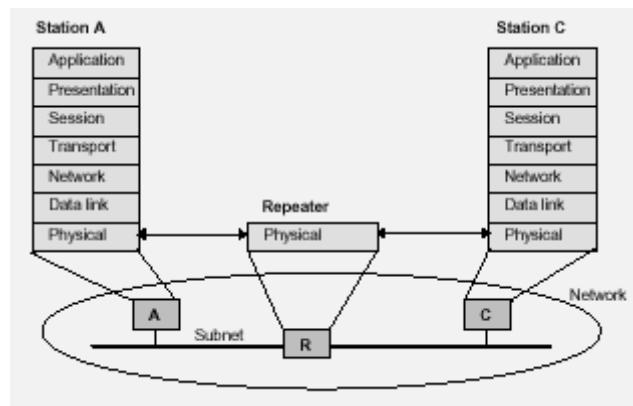
Na osnovu definicije merenja u digitalnim komunikacionim sistemima i metodologije merenja koja iz toga proizilazi, sledi da se u OSI referentnom modelu, sa stanovišta poslova i zadatka merenja i mernih sistema razlikuju, praktično, samo četiri sloja:

- a) odgovara 1. sloju OSI modela
- b) obuhvata ceo 2. i manji deo 3. sloja OSI modela
- c) obuhvata veći deo 3. sloja i ceo 4. sloj OSI modela
- d) obuhvata 5., 6. i 7. sloj OSI referentnog modela

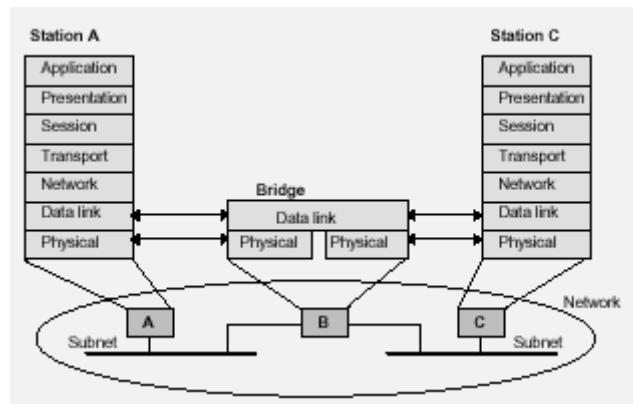
1.3. Povezivanje (uparivanje) mreža

Kako bi se garantovao kontinualan prenos informacija između dve mreže, potrebno je koristiti specijalne elemente za uparivanje i spajanje. Mreže koje treba spojiti obično su nekoliko godina nezavisno razvijane i ne mogu se direktno povezati jer podatke iz jedne mreže nije moguće direktno interpretirati u drugoj mreži. Važno je krajnjem korisniku obezbediti utisak da dve spojene mreže funkcionišu kao celina i da ne dolazi do greške u prenosu. Drugim rečima, uparivanje mreža mora biti nevidljivo za krajnjeg korisnika i on ne sme biti svestan njihovog postojanja, odnosno ne mora praviti nikakve izmene na softveru kako bi obezbedio normalnu komunikaciju. U zavisnosti od kompleksnosti i dispariteta mreža koristiće se **repeater** (ri:pi:tə:), **bridge** ('bridž), **router** (rutə:) ili **gateway** (gejtwej).

Repeater kopira informacije primljene sa jedne strane kabla na drugu i pojačava oslabljene prenosne signale. **Repeater** je nevidljiv za sve slojeve OSI ref. modela, pa je za njegovo korišćenje neophodno da čak i fizički slojevi mreža budu identični. **Repeater** se ne koristi toliko često da poveže dve mreže istog tipa, već da proširi domet linija u okviru jedne mreže.



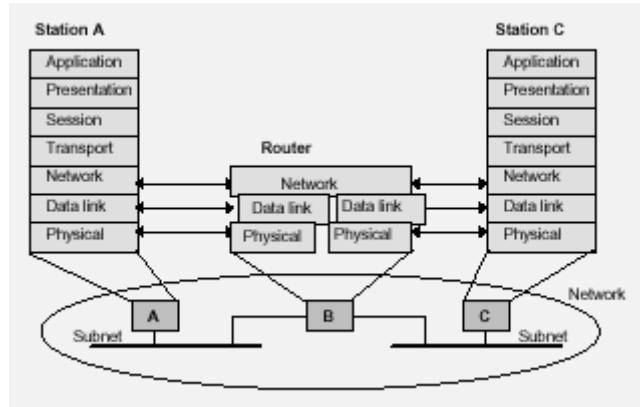
Bridge se koristi da upari dve mreže koje koriste isti protokol na drugom OSI sloju (*Logical Link Control - LLC*). Medijum za prenos i tehnike pristupa (*Medium Access Control - MAC*) dveju mreža mogu biti različiti, mada je bridge moguće primeniti i u situacijama kada se mreže razlikuju samo u korišćenom medijumu za prenos. Bridge-vi se često koriste za povezivanje lokalnih mreža sa različitim topologijama.



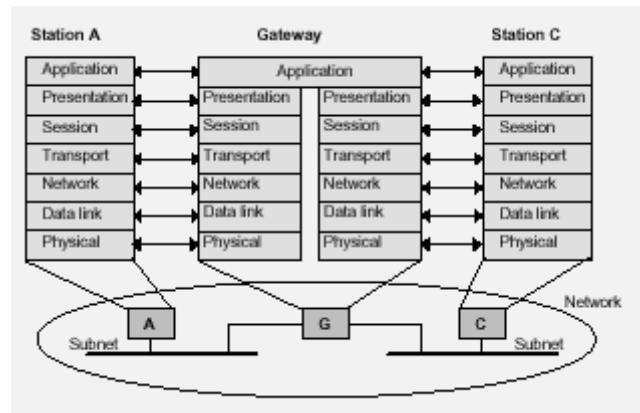
Router se koristi mreže koje se razlikuju na prvom i drugom OSI sloju. **Router** određuje optimalnu komunikacionu putanju za poruku kroz postojeću mrežu (*routing*). Kriterijumi mogu

1. Osnove merenja u digitalnim telekomunikacijama

biti najkraće rastojanje ili najkreće vreme prenosa. *Router* obavlja ovaj zadatak menjajući polaznu i odredišnu adresu pristiglih paketa u mrežnom sloju, pre nego što ih prosledi dalje. *Router-i* moraju da obavljaju daleko složenije zadatke od *bridge-va*, pa zato rade na daleko nižim brzinama.



Gateway se koristi za povezivanje mreža različitih arhitektura, odnosno za povezivanje bilo koje dve mreže. U kontekstu OSI referentnog modela zadatak *gateway-a* je da konvertuje protokole svih slojeva. *Gateway* takođe omogućava da OSI mreža bude povezana sa ne-OSI mrežom. Visoka cena i male brzine su tipične karakteristike mrežnih veza ostvarenih putem *gateway-a*.



1.4. Standardi i preporuke

Standardizacija predstavlja postupak utvrđivanja standarda, odnosno uvođenja jednoobraznih i trajnih rešenja, određivanja i propisivanja konstantnih karakteristika proizvoda, materijala i operacija u određenom periodu vremena. Standardizacija obuhvata:

- 1) specifikaciju, odnosno definisanje karakteristika i funkcionalnih svojstava proizvoda,
- 2) ujednačavanje dimenzija i tolerancija
- 3) sužavanje assortimana isključenjem suvišnih proizvoda ili materijala iste ili slične namene.

Predmet standardizacije jeste materija koja se standardizuje. **Oblast standardizacije** je grupa odgovarajućih predmeta standardizacije. **Nivo standardizacije** je geografski, politički ili ekonomski stepen uključenosti u aktivnost standardizacije. U skladu sa tim mogu se razlikovati: međunarodna, regionalna, nacionalna standardizacija itd.

Ciljevi standardizacije su:

- 1) **Kontrola varijanti** – Izbor optimalnog broja veličina i vrsta proizvoda, procesa ili usluga radi ispunjavanja bitnih potreba. Pri tome se kontrola varijanti uglavnom sastoji u smanjivanju broja varijanti.
- 2) **Upotrebljivost** – Sposobnost proizvoda, procesa ili usluge da posluži utvrđenoj nameni pod određenim uslovima.
- 3) **Kompatibilnost** – Prikladnost proizvoda, procesa ili usluga da se koriste zajedno pod određenim uslovima i da pri tom ispune odgovarajuće zahteve ne prouzrokujući neprihvatljive interakcije.
- 4) **Zamenljivost** – Mogućnost jednog proizvoda, procesa ili usluge da zameni drugi proizvod, proces ili uslugu sa ciljem da ispuni iste zahteve.
- 5) **Bezbednost** – Odsustvo nepredviđenih rizika i mogućnosti nanošenja štete.
- 6) **Zaštita okoline** – Zaštita okoline od neprihvatljive štete koja bi bila posledica funkcionisanja proizvoda ili procesa ili obavljanja usluga.
- 7) **Zaštita proizvoda** – Zaštita proizvoda od klimatskih ili drugih štetnih uslova u toku upotrebe, transporta ili skladištenja.
- 8) **Kvalitet** – Postizanje odgovarajućeg nivoa kvaliteta proizvoda, procesa ili usluge radi zaštite interesa korisnika.

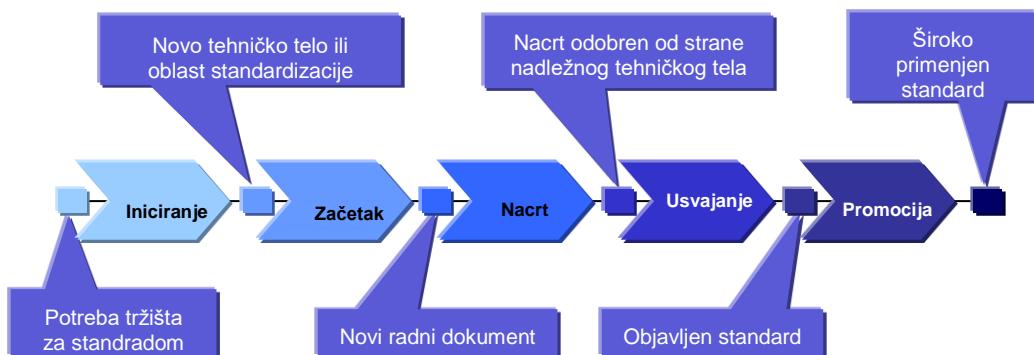
Standard predstavlja dokument utvrđen koncenzusom i potvrđen od stane priznate organizacije u kome se utvrđuju pravila, smernice ili karakteristike za različite aktivnosti ili njihovi rezultati u cilju ostvarivanja optimalnog stepena reda u datom kontekstu. Standardi treba da budu zasnovani na proverenim rezultatima nauke, tehnike i iskustva. Pod pojmom **konzensus** podrazumeva se opšta saglasnost koju karakteriše odsustvo trajnog suprotstavljanja bilo koje zainteresovane strane i proces u kome su uzeta u obzir mišljenja svih zainteresovanih strana i u kome su usklađeni svi sporni argumenti. Koncensus ne podrazumeva jednoglasnost. Standard može obuhvatiti sve ili samo neke od sledećih dokumenata: tehničke specifikacije, pravila prakse, i tehnički propisi. **Tehnička specifikacija** je dokument kojim se utvrđuju tehnički zahtevi koje moraju ispuniti proizvod, proces ili usluga. **Pravila prakse** su dokument koji preporučuje praksu ili postupke za konstruisanje, proizvodnju, ugradnju, održavanje ili korišćenje opreme, konstrukcije ili proizvoda. **Propis** je dokument koji sadrži obavezne pravne norme koje je doneo nadležni organ vlasti. **Tehnički propis** je propis koji sadrži tehničke

1. Osnove merenja u digitalnim telekomunikacijama

zahteve, bilo neposredno bilo pozivanjem na standard, tehničku specifikaciju ili pravila prakse ili uključuje sadržaje navedenih dokumenata. Standardi koji u sebi obuhvataju samo pravila prakse nazivaju se još i **preporuke**. U praksi je u digitalnim telekomunikacijama broj preporuka daleko veći od broja standarda. Razlog za ovo leži u veoma brzom razvoju komunikacionih tehnologija, koje ne ostavljaju dovoljno vremena za prolaženje kroz dugotrajanu proceduru donošenja standarda. Pored toga, usvajanje nekog standarda iziskuje materijalne troškove od strane odgovarajuće organizacije za standardizaciju. Uočeno je da se mnoge preporuke iz raznih oblasti telekomunikacija menjaju i dopunjaju takvom brzinom da bi bilo ekonomski neisplativo dovoditi ih na nivo standarda.

Međunarodne organizacije koje se bave standardizacijom u oblasti telekomunikacija su ISO (Međunarodna organizacija za standardizaciju), IEC (Međunarodna elektrotehnička komisija), ITU (Međunarodna telekomunikaciona unija), ETSI (Evropski institut za telekomunikacione standarde), CEN (Evropski komitet za standardizaciju) i CENELEC (Evropski komitet za standardizaciju u elektrotehnici).

Da bi se proverilo i dokazalo da je neki proizvod, proces ili usluga u skladu sa odgovarajućim standardom ili preporukom neophodno je izvršiti odgovarajuća merenja i izdati uverenje o tome. **Atest o usaglašenosti** je isprava kojom se, na osnovu izveštaja o ispitivanju proizvoda, potvrđuje da je proizvod ispitani na propisan način i da ispunjava zahteve određene odgovarajućim standardima, tehničkim propisima ili preporukama. Atestirani proizvod dobija pravo na korišćenje **znaka o usaglašenosti** čiji je izgled definisan u okviru odgovarajućih propisa. Postupak izdavanja atesta i znaka usaglašenosti kojima se potvrđuje usaglašenost proizvoda sa određenim standardima, preporukama, tehničkim propisima ili specifikacijama, naziva se **atestiranje**. Da bi određena laboratorijska mogla izdavati ateste neophodno je da bude kompetentna za obavljanje specifičnih ispitivanja i ovlaštena od strane nadležnog pravnog tela. Ovakve ovlašćene laboratorijske, koje mogu izdavati ateste, nazivaju se **akreditovane laboratorijske**. Procedura donošenja standarda prikazana je slici 1.4.



Slika 1.3. Procedura donošenja standarda

Donošenje svakog standarda inicirano je potrebama tržišta. Ukoliko je oblast standardizacije nova ili je neophodno formirati posebna tehnička tela koja će biti nadležna za date standarde, pristupa se formiraju ovih tehničkih tela, odnosno oblasti standardizacije. Potom se pristupa izradi nacrta novog standarda (radni dokument). Nadležno tehničko telo odobrava nacrt i usvaja ga kao standard, što je praćeno odgovarajućim objavljivanjem standarda. Nakon objavljivanja, standard se promotivno primenjuje da bi se u praksi potvrdila njegova ispravnost i ekonomski isplativost. Nakon toga, uobičajeno sledi masovna primena datog standarda.

1.5. Merne jedinice i obrada mernih informacija

Međunarodni sistem jedinica

Fizička veličina X određena je svojom brojnom vrednošću $\{X\}$ i svojom jedinicom $[X]$, što znači da je

$$X = \{X\} [X] \quad (1.1)$$

Iz (1.1) sledi da je brojna vrednost $\{X\}$ veća kada se koristi manja jedinica $[X]$ i obratno. Ako je fizička veličina X neimenovana, kao što je npr. odnos signal/šum, decibelsko slabljenje, ugao u ravni, koeficijent korisnog dejstva i sl., onda za tu veličinu važi da je $[X] = 1$.

Međusobno usaglašene jedinice fizičkih veličina predstavljaju sistem jedinica i spadaju u domen stalnih međunarodnih dogovora. Generalna konferencija za tegove i mere (fr. *Conférence Générale des Poids et Mesures – CGPM*) usvojila je 1960. godine Međunarodni sistem jedinica (fr. *Système International*, skraćeno SI) kao sistem u svim oblastima ljudske delatnosti. Kod nas je SI zakonski prvi put uveden 1. jula 1976. godine. U okviru ovog sistema definisano je sedam osnovnih fizičkih veličina:

1. dužina,
2. masa,
3. vreme,
4. jačina električne struje,
5. termodynamička temperatura,
6. jačina svetlosti, i
7. količina supstancije.

Ovim veličinama odgovara sedam osnovnih fizičkih jedinica:

1. metar (m) je jedinica za dužinu,
2. kilogram (kg) je jedinica za masu,
3. sekunda (s) je jedinica za vreme,
4. amper (A) je jedinica za jačinu električne struje,
5. kelvin (K) je jedinica za termodynamičku temperaturu,
6. kandela (cd) je jedinica za jačinu svetlosti, i
7. mol (mol) je jedinica za količinu supstancije.

Na osnovu sedam osnovnih SI jedinica izvode se jedinice svih ostalih – izведенih veličina u fizici, primenom relacija koje na pogodan način povezuju odgovarajuće veličine. Osnovna veličina u geometriji je metar, pa se na osnovu nje izvode jedinice za sve izvedene veličine u geometriji. Tako, na primer, izvedena jedinica za površinu može da se odredi na osnovu relacije za površinu kvadrata $S = x^2$, prema kojoj je

$$[S] = [x]^2 = \text{m}^2 \quad (1.2)$$

Slično tome, jedinica za silu, njutn (N) izvodi se prema Drugom Njutnovom zakonu $F = ma$, prema kome je

1. Osnove merenja u digitalnim telekomunikacijama

$$[F] = [m] \cdot [a] = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{N} \quad (1.3)$$

Na isti način se izvode jedinice u ostalim oblastima fizike. Neke od ovih jedinica doble su posebne nazive (tabela 1.2), a neke su izvedene samo na osnovu osnovnih jedinica i izvedenih jedinica sa posebnim nazivom (tabela 1.3)³.

Tabela 1.2. Izvedene jedinice SI sa posebnim nazivima

Izvedena fizička veličina	Naziv jedinice	Oznaka jedinice
Učestanost	herc	Hz
Energija	džul	J
Snaga	vat	W
Količina nanelektrisanja	kulon	C
Električni napon	volt	V
Električna otpornost	om	Ω
Električna provodnost	simens	S
Magnetska indukcija	tesla	T
Magnetski fluks	veber	Wb
Induktivnost	henri	H
Kapacitivnost	farad	F
Logaritamski odnos snaga	bel	B

Tabela 1.3. Neke izvedene jedinice SI koje nemaju posebne nazive

Izvedena fizička veličina	Izvedena jedinica	Oznaka jedinice
Jačina električnog polja	volt po metru	V/m
Jačina magnetskog polja	amper po metru	A/m
Permitivnost	farad po metru	F/m
Permeabilnost	henri po metru	H/m
Specifična električna otpornost	ommeter	$\Omega \cdot m$

Osim jedinica SI, zakonom je dozvoljena i upotreba nekih drugih jedinica koje se koriste u praksi, kao što su minut (min) i čas (h) za vreme, stepen celzijusa ($^{\circ}\text{C}$) za temperaturu, tona (t) za masu i dr.

Prefiksi fizičkih jedinica

Korišćenje Međunarodnog sistema jedinica podrazumeva upotrebu decimalnih jedinica. Decimalne jedinice su decimalni delovi ili decimalni umnošci odgovarajućih jedinica, a obrazuju se stavljanjem međunarodno usvojenog prefiksa ispred jedinice. U tabeli 1.4 dati su svi prefiksi za fizičke veličine.

Na osnovu poznavanja prefiksa, umesto da se piše 0,000000345 F, ili $3,45 \cdot 10^{-7}$ F, mogu se koristiti notacije 0,345 μF ili 345 nF koje su mnogo razumljivije, lakše se čitaju i mnogo brže pišu. Takve decimalne jedinice su, na primer, mm, kV, mA, kW, μF , mH itd.

³ U tabelama 1.2 i 1.3 nisu date sve jedinice, već samo one koje se odnose na oblast elektrotehnike.

Tabela 1.4. Prefiksi decimalnih fizičkih jedinica

Naziv prefiksa	Oznaka	Činilac kojim se množi jedinica (vrednost prefiksa)
jota	Y	
zeta	Z	
eksa	E	1 000 000 000 000 000 000 = 10^{18}
peta	P	1 000 000 000 000 000 = 10^{15}
tera	T	1 000 000 000 000 = 10^{12}
giga	G	1 000 000 000 = 10^9
mega	M	1 000 000 = 10^6
kilo	k	1 000 = 10^3
hekto	h	100 = 10^2
deka	da	10 = 10^1
deci	d	0,1 = 10^{-1}
centi	c	0,01 = 10^{-2}
mili	m	0,001 = 10^{-3}
mikro	μ	0,000 001 = 10^{-6}
nano	n	0,000 000 001 = 10^{-9}
piko	p	0,000 000 000 001 = 10^{-12}
femto	f	0,000 000 000 000 001 = 10^{-15}
ato	a	0,000 000 000 000 000 001 = 10^{-18}
zepto	z	
jokto	y	

Pravila pisanja jedinica SI sistema

Usvojena su i određena pravila kako treba pisati jedinice. Naime, jedinice treba pisati uspravnim a ne kosim slovima, kao na primer,

m, N, A, H, a ne m, N, A, H

Osim toga, oznaka prefiksa i jedinice pišu se uvek zajedno, tj. bez razmaka među njima, kao na primer,

kg, nm, μ F, kV, a ne k g, n m, μ F, k V

Izložilac (eksponent) koji se stavlja samo na oznaku jedinice odnosi se na celu jedinicu uključujući i prefiks, pa treba pisati

$\text{km}^3, \text{ns}^2, \text{kV}^2$, a ne $(\text{km})^3, (\text{ns})^2, (\text{kV})^2$

Iza jedinica se ne piše tačka, osim ako se njome ne završava rečenica, kao na primer u rečenici "...odgovarajuće jedinice su V, W, T i Pa."

Prefiks i naziv jedinice se pišu i izgovaraju zajedno, kao na primer,

kWh (kilovatčas)
kg (kilogram)
mA (miliampyer)

μF (mikrofarad) itd.

Proizvod dve jedinice se obeležava tačkom kao simbolom množenja, kao na primer
 $m \cdot N, N \cdot s, \Omega \cdot A,$ a ne $mxN, Ns, \Omega A$

Ako se jedinica obrazuje međusobnim deljenjem dveju jedinica, onda se kao simbol deljenja koristi razlomačka crta ili kosa crta. Dakle, treba pisati

$m/s^2, J/(kg \cdot K), W/m^2,$ a ne $m/s/s, J/kg/K, W/m/m$

Mogu se upotrebljavati i eksponenti sa negativnim znakom, kao na primer,

$m \cdot s^{-2}, J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}, W \cdot m^{-2}$

Nije dozvoljena upotreba dvostrukih prefiksa, kao na primer

$\mu\mu m$ umesto pm, mkg umesto $g, kkWh$ umesto MWh i sl.

Prilikom pisanja fizičkih veličina, pri merenju ili računanju, pored njene brojne vrednosti neophodno je napisati i odgovarajuću jedinicu. Tako, na primer ne treba pisati

$l = 20,1$ već $l = 20,1 \text{ mm}$
 $m = 4,62$ već $m = 4,62 \text{ cg}$

Isto tako, pogrešno je pisati

$l = (\text{mm}) = 20,1;$ $l [\text{mm}] = 20,1;$ $l = 20,1 \text{ [mm]}$
 $c [\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}] = 982;$ $c [\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}] = 982;$ $c = 982 \text{ [J/kg} \cdot ^\circ\text{C]}$

Jedinica se piše odvojeno od brojne vrednosti, ali uvek u istom redu sa njom, kao na primer

$5 \text{ kV}, 7 \text{ mH}, 12,4 \text{ Mbit},$ a ne $5\text{kV}, 7_mH, 12,4 \text{ Mbit}$

Prilikom izračunavanja formula i izraza, neophodno je, pored brojnih vrednosti veličina pisati i njihove SI jedinice. Tako na primer, treba pisati

$$E = t \cdot U^2 / R = 2 \text{ s} \cdot (1,3 \text{ kV})^2 / 3,7 \Omega = 0,91 \text{ J}$$

a ne

$$E = t \cdot U^2 / R = 2 \cdot (1,3)^2 / 3,7 = 0,91 \text{ J}$$

Definicije jedinica i njihove mere

Za sve aspekte ljudske delatnosti važno je da se merna informacija može nedvosmisleno protumačiti. Zabune mogu nastati iz brojnih razloga: kulturološke ili jezičke barijere, različiti profili i nivoi obrazovanja ljudi i sl. Većina ovih uzroka mogu se prevazići dodatnim objašnjenjima i proverama, ali postoji jedna veoma ozbiljna, neotklonjiva i, nažalost, veoma česta smetnja – odsustvo jasne korelacije između brojne vrednosti $\{X\}$ i upotrebljene jedinice $[X]$. Za to su dobri primjeri sledeće fizičke jedinice:

- **Stopa** (engl. *foot*) u oznaci "ft" naslednik je srednjevekovne mere za dužinu i primer je jedinice vezane za subjektivne pokazatelje pa se, zbog toga, teško rekonstruiše u praksi. Čija stopa? Da li u vreme kada je taj neko bio dete ili odrastao čovek? Gde možemo naći tu osobu? Da li se prilikom merenja može koristiti sopstveno stopalo kao mera? (ipak je i to stopalo!) Kome odeseći deo stopala kada brojna vrednost veličine koja se meri mora biti iskazana kao racionalan broj (npr. 3,5 ft)?
- **Funta** (engl. *pound*) u oznaci "pnd" kao jedinica za iskazivanje mase je primer jedinice određene parametrom koji ne pripada oblasti fizike. U srednjem veku, jedna funta je označavala masu mesa koja se mogla kupiti za jednu srebrnu funtu. Ne zna se da li je to važilo i za izlizane i istrošene kovanice? Da li to znači da su u vreme prosperiteta ekonomije sve svinje davale više mesa? Nesumnjivo, ovakav pristup nameće i brojna filozofska pitanja, kao: da li je bolje da držite dijetu ili izazovete hiperinflaciju u državi kako biste smršali?
- **Barel** (engl. *barrel* - bure) u oznaci "barrel" je jedinica za zapreminu tečnosti vezana za nejasnu i nepotpuno definisanu referencu koja je, paradoksalno, veoma raširena i prihvaćena u svetu. Barel se koristi kao mera za količinu nafte, i predstavlja zapreminu metalnog kontejnera valjkastog oblika standardne (!?) veličine. Postavlja se pitanje šta znači "standardna veličina"? Šta se dešava ako je bure u koje se sipa nafta ulubljeno? Da li može koristiti i bušno bure, jer u njega, svakako, ne staje ista količina nafte? Kasnije je, zbog važnosti ove veličine, ona fiksirana u odnosu na neke druge priznate veličine kao što su metar, litar i ton.
- **Jutro** je jedinica za površinu zemlje koja se i danas koristi u Srbiji. To je jedinica čija definicija zanemaruje brojne uticajne faktore do te mera, da njena upotreba u izvornom obliku može pre dezinformisati i zbuniti inteligentu i obrazovanu osobu, nego što joj nešto može reći. Originalno, jedno jutro predstavlja površinu obradivog zemljišta koje se može preorati do podneva!? Pri tome nije jasno u koliko sati se smatra da se počinje sa radom (pa, pobogu, čim sunce izađe!), niti čime se njiva ore (ralom sa upregnutim volovima ili traktorom)? Možemo li smatrati da se površina neke parcele smanjuje kako se približava kratkodnevnička? Kako uzeti u obzir tvrdoću i nagib zemljišta, kvalitet i veličinu pluga, dubinu oranja, fizičku snagu i iskustvo ratara? Da li se merenje svodi na oranje i koji se postupak preporučuje za premeravanje betoniranih površina?
- **Bradata sekunda** je jedinica za dužinu inspirisana svetlosnom godinom, ali se koristi za veoma mala rastojanja. Bradata sekunda je definisana kao dužina za koji brada naraste u toku jedne sekunde. Kemp Benet Kolb (Kemp Bennet Kolb) je definisao ovo rastojanje kao 10 nanometara, dok su Nordling i Esterman u svom priručniku (Nordling and Österman's Physics Handbook) uzeli polovinu ove vrednosti, odnosno 5 nanometers. Google Calculator podržava bradatu-sekundu a za konverziju upotrebljava 5 nanosekundi.
- **Magareća snaga** je dovitljiva inženjerska jedinica koja iznosi 250 wata ili oko trećinu konjske snage.
- **Vorhol** je mera za trajanje slave, izvedena iz izjave slavnog američkog umetnika Endija Vorhola (Andy Warhol) o tome da će u budućnosti svako imati svojih 15

minuta slave. Tako je npr. jedan kilovorhol slava koja traje 15.000 minuta ili nešto više od 10 dana.

Iako su sve gore navedene jedinice danas veoma jasno i nedvosmisleno određene, uglavnom tako što su dovedene u fiksne odnose sa SI jedinicama, one nisu priznate u okviru SI sistema i njihova upotreba je zabranjena. Razlog leži u njihovom arhaičnom nasleđu i dualnosti upotrebe u prošlosti i danas, zbog čega mogu i dalje izazivati zabunu.

Postoje međutim i takve jedinice koje se ne mogu dovesti u odnose sa SI jedinicama, kao što je slučaj sa sledećim jedinicama:

- **Mukanje krave** je jedinica koja se koristi među stočarskim nomadskim plemenima u nekim delovima Afrike. To je mera za udaljenost koja odgovara rastojanju na kome se još može čuti mukanje krave. Iz ove definicije slede brojni očigledni problemi, kao što su: činjenica da nagluvi ljudi uočavaju kraće dužine od onih koji dobro čuju; problem ponovljivosti merenja ako, recimo, krava odbija da muče onda kada je nama to potrebno; zatim, sa dovoljno velike udaljenosti se ne razaznaje da li se oglasila krava ili neka druga životinja; i dr.
- **Uočljivost ovce** je rastojanje sa koga se još može razaznavati ovca od okolnog pejzaža. Iako postoje procene da je reč od oko 1,4 km, to svakako zavisi i od sposobnosti samog posmatrača. Ako je posmatrač npr. kratkovid, onda je vrednost jedinice uslovljena time da li je posmatrač zaboravio naočare kod kuće ili ne, u kom slučaju se vrednost može skalirati i na nekoliko metara. Dobro je što je za razliku od nekih jedinica njen etalon (ovca) relativno prenosiv. Merači bi se susreli sa ozbiljnim problemom da se autor jedinice odlučio za npr. uočljivost slona.
- **Fridman** je period od otprilike šest meseci ili konkretnije šest meseci u budućnosti. Jedinica je nazvana po američkom novinaru Tomasu Fridmanu (Thomas Friedman) koji je neprestano koristio ovaj vremenski raspon u svojim političkim tekstovima kako bi dao procenu roka u kome će biti rešena situacija sa Irakom.
- **Jelena** je mera za lepotu nazvana po antičkoj lepotici Jeleni Trojanskoj. Postoji više definicija koje govore šta tačno predstavlja vrednost od jedne jelene, ali se sve poklapaju u tome da su podjednako moguće i pozitivne i negativne vrednosti.

Probleme sa pouzdanošću i mogućnosti reprodukcije jedinice uočili su ljudi još od najranijih vremena. Naprimer, jedinica dužine u starom Egiptu, definisala se kao rastojanje od lakta do ispruženog srednjeg prsta nekog faraona. Ta jedinica bi bila opredmećena kao granitna šipka. Napravio bi se i određen broj štapova od drveta, i to bi se podelilo onima koji su odgovorni za radove (sveštenici, graditelji, ...). Jedanput godišnje, svi drveni štapovi morali su se ponovo poreediti sa granitnom šipkom. Propuštanje ovog poređenja (etaloniranje) kažnjava se smrću. Ovako gledano, postupak merenja posedovao je metrološku sledivost. Praktično, jedina razlika je u tome što se, od Francuske buržoaske revolucije do danas, definicije vezuju za malo univerzalnije, objektivnije i trajnije stvari, kao što su to dimenzije Zemlje, svojstva nekih supstanci, proces i u atomskom i subatomskom svetu, do danas, kada se pokušava da se i definicije mernih jedinica vežu sa fizičkim konstantama.

Očigledno je da za svaku SI veličinu X mora postojati nedvosmislena, ponovljiva i opšte priznata absolutna referenca merne jedinice $[X]$ iz fizičkog sveta koji nas okružuje, a u odnosu na koju će se iskazivati sve brojne vrednosti $\{X\}$ te fizičke veličine. Ovakva materijalizovana mera, merni instrument ili merni sistem namenjen da definiše, ostvaruje, čuva ili reproducuje jednu jedinicu odnosno jednu ili više poznatih vrednosti jedne veličine kako bi se poređenjem moglo preneti na druga merila naziva se etalon (engl. *standard*).

Definicije etalona sedam osnovnih fizičkih jedinica su:

- Metar odgovara rastojanju koje u vakuumu pređe svetlost za vreme od $1/299792485$ sekundi.
- Kilogram je masa međunarodnog etalona mase.
- Sekunda je trajanje od $9\ 192\ 631\ 770$ perioda zračenja koje odgovara prelazu između dva hiperfina nivoa osnovnog stanja atoma izotopa cezijuma $^{133}_{55}\text{Cs}$.
- Amper je jačina konstantne električne struje koja, kada se održava u dva prava pravolinjska provodnika beskonačne dužine i zanemarivog poprečnog preseka, koji se nalaze u vakuumu na međusobnom rastojanju od 1 metra, prouzrokuje među tim provodnicima silu od $2 \cdot 10^{-7}$ njutna po metru dužine provodnika.
- Kelvin je termodinamička temperatura koja je jednaka $1/273,16$ termodinamičke temperature trojne tačke vode.
- Kandela je svetlosna jačina, u datom pravcu, izvora koji emituje monohromatsko zračenje frekvencije $540 \cdot 10^{12}$ herca čija je energijska jačina u tom pravcu $1/683$ vata po steradijanu.
- Mol je količina supstancije koja sadrži isto toliko elementarnih čestica koliko ima atoma u 0,012 kilograma osnovnog izotopa ugljenika $^{12}_6\text{C}$.

Ovi etaloni (izuzev etalona mase) birani su tako da se što pouzdanije mogu reprodukovati u bilo kom trenutku na bilo kom delu zemaljske kugle. Teorijski, etaloni sedam osnovnih fizičkih jedinica, dovoljni su da obezbede reference za sve jedinice u fizici. Kada se kaže, recimo, da je vrednost neke otpornosti $3\ \Omega$, tada se zna da je to odgovarajući odnos jednosmernog napona i struje. Kako je struja osnovna fizička veličina, a napon se može predstaviti odnosom energije i količine nanelektrisanja, koji se dalje mogu svesti na druge fizičke veličine sve do osnovnih, dobija se da je izmerena vrednost od $3\ \Omega$, zapravo tri hiljade puta veća veličina od veličine date sa 1.4.

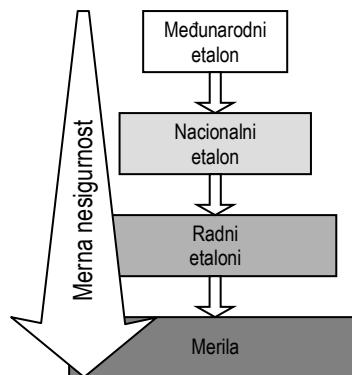
$$1\ \Omega = 1 \frac{\text{A}^2 \cdot \text{s}^3}{\text{kg} \cdot \text{m}^2} \quad (1.4)$$

Za izraz 1.4 jasno je da se na jedinice za amper, sekundu i metar poziva više puta, što uslovjava da je tačnost takvog referenciranja višestruko manja. Da bi se, u složenim situacijama popravila tačnost referenciranja, metrolozi se trude da razviju etalone koji direktno reproducuju svaku od izvedenih fizičkih jedinica ponaosob. Tako je npr. razvijen direktan etalon za reprodukciju ome na osnovu kvantnog Holovog efekta, ali se i dalje smatra da je jedan od fizičkih veličina određena izrazom 1.4. Etaloni izvedenih veličina koriste se samo radi smanjenja greške koju unosi upotreba referenci sa velikim brojem fizičkih jedinica.

1. Osnove merenja u digitalnim telekomunikacijama

Svaka država razvija sopstveni sistem merila i propisa (**metrološki sistem**) koji kontroliše **nacionalnim etalonima i referentnim materijalima**. Neki od njih određeni su gore navedenim definicijama i postupcima. Međunarodni etalon je etalon priznat međunarodnim sporazumom za međunarodnu osnovu za utvrđivanje vrednosti svih drugih etalona odnosne veličine. Međunarodni etalon predstavlja osnovni **izvor mernih informacija** za sva merenja te fizičke veličine.

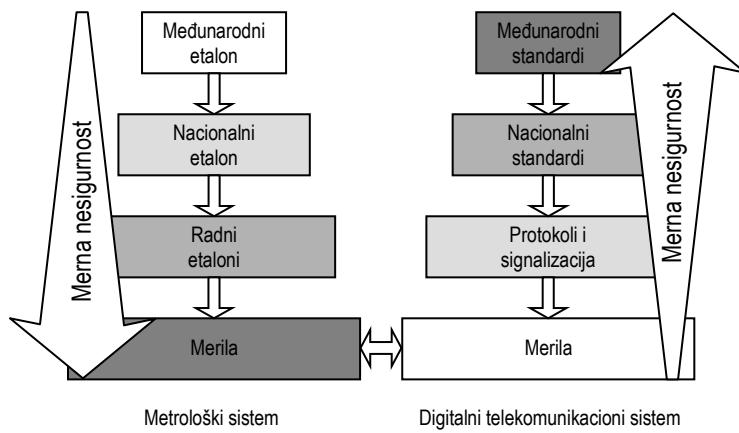
Česta upotreba etalona visokih metroloških performansi nije ni praktična ni ekonomski opravdana. Zbog toga je razvijen čitav niz međureferenci koje služe da "premoste" put mernih informacija od najviših tačaka u hijerarhiji (etalona) do merila i merenih veličina (slika 1.4). Time se formira tzv. **merna sledivost** i redukuje upotrebu etalona. Poređenje brojnih vrednosti jedne iste fizičke veličine na različitim hijerarhijskim nivoima naziva se **prenos (tok) mernih informacija**.



Slika 1.4. Struktura metrološkog sistema i tokovi mernih informacija

Merila nekog višeg hijerarhijskog nivoa (kontrolna merila ili etaloni) moraju imati bolje metrološke performanse od merila sledećeg nižeg hijerarhijskog nivoa (ispitivana merila). Pravilo je da je taj odnos barem 10:1. Sa slike 1.4 vidi se da se u metrološkom sistemu smer toka mernih informacija poklapa sa smerom porasta merne nesigurnosti.

U digitalnim telekomunikacionim sistemima, za razliku od metrološkog sistema u fizici, smer porasta tolerancije nije usklađen sa smerom toka informacija (Slika 1.5). Za razliku od etalona (engl. *standard*), međunarodni standardi (engl. *standard – hm!?*), koji čine najviši hijerarhijski nivo, imaju ujedno i najmanje merne nesigurnosti.



Slika 1.5. Poređenje sistema merne sledivosti klasičnog metrološkog sistema i digitalnog telekomunikacionog sistema

Iako na prvi pogled paradoksalna, ovakva hijerarhija se može opravdati, ako se ima na umu da je to upravo suština postojanja međunarodnih standarda. Standardi na nekom višem hijerarhijskom nivou moraju biti opšti i fleksibilni kako bi:

- pružili najopštije moguće smernice za razvoj, implementaciju i održavanje komunikacione tehnologije,
- izbegli podvrgavanje čestim izmenama i dopunama zbog vođenja računa o svim pojedinostima koje se mogu javiti sa napretkom tehnologije i širenjem telekomunikacionih mreža u svetu,
- bili transparentni i omogućili povezivanje sistema razvijenih po strožijim (različitim) definicijama na nižim hijerarhijskim nivoima.

Međunarodni standardi uvedeni su radi obezbeđivanja interoperabilnosti nacionalnih mreža. Da bi, recimo, nacionalna mreža fiksne telefonije Srbije mogla da se poveže sa odgovarajućom međunarodnom mrežom, ništa ne smeta ako ona ima bolje performanse (strožiji nacionalni standardi, manje tolerancije) od kriterijuma postavljenih međunarodnim standardima. Problem bi se javio upravo ako bi situacija bila obrnuta, tj. ako bi nacionalna mreža Srbije imala lošije performanse, zbog čega bi dolazilo do otkaza prilikom pokušaja preusmeravanja saobraćanja na međunarodne linkove.

Zbog toga je hijerarhija prikazna na slici 1.5 ne samo logična, nego i neophodna.

Sa druge strane, treba imati na umu i jedan moguć nedostatak ovog pristupa: prevelika sloboda u interpretaciji pojedinih standarda uvek dovodi do razvoja velikog broja funkcionalnih elemenata u sistemu, i divergencije tehnologije, pre svega protokola na višim OSI nivoima. Ovo može uzrokovati nekompatibilnost i brojne druge probleme koji se ne mogu unapred predvideti u fazi razvoja, pa se tada iziskuju dodatne investicije za naknadno obezbeđivanje pune funkcionalnosti sistema. Dobar primer je SDSL (engl. *Symmetric Digital Subscriber Line*) tehnologija koja nikada nije standardizovana, tako se veoma često dešava da oprema od jednog proizvođača ne može da se koristi u kombinaciji sa opremom nekog drugog proizvođača.

Aritmetičke operacije sa nekim specijalnim veličinama i jedinicama koje se koriste pri merenju u fiksnoj pristupnoj mreži

Postoji nekoliko fizičkih veličina koje su od posebnog interesa za merenja u širokopojasnoj prisutnoj mreži. Prva od tih veličina je bit. Bit je jedinica za količinu informacije datu kao logaritam sa osnovom dva od entropije prenetih podataka (izraz 1.5).

$$i = \log_2 H \text{ (bit)} \quad (1.5)$$

U sistemima za prenos ne analizira se informacioni sadržaj koji korisnik šalje kroz mrežu, pa se smatra da su svi podaci u poruci jednako "važni", odnosno "informativni" ili "jednako neočekivani". Ovo odgovara maksimalnoj entropiji sistema koja je jednak broju mogućih različitih poruka i za binarne sisteme prenosa iznosi $2^{<\text{broj nula i jedinica u poruci}>}$. Dakle, za sve sisteme prenosa, jedan bit odgovara jednoj nuli ili jedinici u poruci koja se prenosi.

Iako je bit, zapravo, neimenovana jedinica, uvedena je odgovarajuća oznaka kako bi se njeni decimalni umnošci mogli predstaviti upotrebo prefiksa. Nažalost, prefiksi koji se dodaju na

jedinicu bit, ne odgovaraju decimalnim prefiksima SI sistema iz tabele 1.4, jer je iz praktičnih razloga usvojeno da prefiksi za bit budu binarni. Tako je npr. 1 kbit zapravo $1024 = 2^{10}$ bita. Značenje ostalih prefiksa dato je u tabeli 1.5.

Tabela 1.5. Decimalni prefiksi za jedinicu količine informacije

Naziv prefiksa	Oznaka	Činilac kojim se množi jedinica (vrednost prefiksa)
eksa	E	$1\ 152\ 921\ 504\ 606\ 846\ 976 = 2^{60}$
peta	P	$1\ 125\ 899\ 906\ 842\ 624 = 2^{50}$
tera	T	$1\ 099\ 511\ 627\ 776 = 2^{40}$
giga	G	$1\ 073\ 741\ 824 = 2^{30}$
mega	M	$1\ 048\ 576 = 2^{20}$
kilo	k	$1\ 024 = 2^{10}$

Pored jedinice bit, u praksi se sreće i nešto veća jedinica – bajt (engl. *byte*) u oznaci "Byte". Vrednost jednog bajta odgovara vrednosti od osam bita

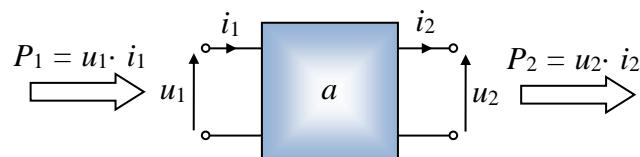
$$1 \text{ Byte} = 8 \text{ bit} \quad (1.6)$$

I za bajt se koriste binarni prefiksi iz tabele 1.5. Iz jedinica bit i bajt izvode se posebne izvedene veličine kao što su bit/s, bit/Hz, Byte/s i sl. Jedinica bit/s određuje binarne protoke u nekom sistemu, odnosno broj nula i jedinica koji se prenesu u jednoj sekundi. Kada se signali koduju tako da se, umesto binarnih sekvenci (napona sa dva moguća nivoa), prenose M -arne sekvence (naponi sa M mogućih nivoa), tada se umesto jedinice bit u sekundi (bit/s) koristi jedinica "Baud" (izgovara se bod, a znači "simbola u sekundi").

Logaritamski odnos snaga dat izrazom 1.7.

$$a = \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{B}) \quad (1.7)$$

kvantificuje se brojnom vrednošću i neimenovanom jedinicom bel (engl. *bell*), u oznaci "B". Pri tome je izraz 1.7 definisan za dvopristupni element (mrežu) i odgovarajuće veličine koje su označene na slici 1.6.



Slika 1.6. Referentne označke na dvopristupnom elementu

Snaga P_1 u izrazu 1.7 je ulazna snaga koja se predaje sistemu, a P_2 je odgovarajuća izlazna snaga. Ako je P_2 veće od P_1 , veličina a je pozitivna i naziva se pojačanje sistema. Ako je P_1 veće od P_2 , a će biti negativno, odnosno sistem će slabiti signale koji kroz njega prolaze. Nekada se za ovu drugu situaciju koristi izraz "negativno slabljenje", ali je "slabljenje" šire prihvaćen izraz. Negativan predznak za a u slučaju da linija slabi signale, može se izbegći uvođenjem

1. Osnove merenja u digitalnim telekomunikacijama

predznaka minus u izraz 1.7, što je isto kao i da se razlomak obrne, odnosno da P_1 i P_2 zamene mesta (izraz 1.8). Tada će slabljenje biti izraženo kao pozitivna veličina, a eventualna pojava negativnog predznaka znači da je, zapravo, reč o pojačanju.

$$a = -\log_{10} \frac{P_2}{P_1} \text{ (B)} \quad (1.8)$$

U literaturi se podjednako sreću obe varijante, pa se tako može naći

"...slabljenje preslušavanja iznosi -62 dB..."

ali i

"...slabljenje preslušavanja iznosi +62 dB..."

Postavlja se pitanje kako interpretirati veličine iskazane na ovakav način? Kada se prikazuju i interpretiraju rezultati merenja slabljenja u obliku logaritamskog odnosa snaga, treba imati na umu da je uvek reč o smanjenju snage. Na taj način se iz same vrednosti, odnosno činjenice da li je broj pozitivan ili negativan, zaključuje koja je definicija slabljenja korišćena (podrazumevana).

U oba navedena primera, očigledno je reč o slabljenju. Razlika je u tome što je u prvom slučaju brojna vrednost iskazana sa negativnim predznakom, što je, očito, posledica korišćenja izraza 1.7, dok se u drugom slučaju, najverovatnije, podrazumevalo da je slabljenje dano izrazom 1.8.

U ovom materijalu koristiće se isključivo izraz 1.7, što znači da će sva stvarna slabljenja imati negativan predznak.

U telekomunikacijama tipično se sreću slabljenja reda veličine od 0,0001 B do 1 B, pa će rezultati često biti iskazivani sa određenim brojem decimala. Radi skraćenja zapisa i lakšeg pamćenja brojnih vrednosti, umesto jedinice bel češće se koristi decimalna jedinica decibel (dB), koja predstavlja deseti deo bela. Da bi, pri tome, vrednost pojačanja/slabljenja ostala nepromenjena, u izrazu 1.7 se dodaje umnožak 10 čime se kompenzuje prefiks deci (10^{-1}). Tako se dolazi do standardnog izraza za pojačanje/slabljenje sistema dano sa 1.9.

$$a = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \text{ (dB)} \quad (1.9)$$

Ukoliko se može smatrati da su naponi u_1 i u_2 , sa slike 1.6 prinudni (kao npr. kod vodova), izraz 1.9 može se napisati u obliku 1.10.

$$a = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log_{10} \frac{U_2^2 / R}{U_1^2 / R} = 10 \log_{10} \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 20 \log_{10} \frac{U_2}{U_1} \text{ (dB)} \quad (1.10)$$

gde su U_1 i U_2 efektivne vrednosti napona u_1 i u_2 . Dakle, pojačanje/slabljenje se može iskazati i kao logaritamski odnosa dva napona, s tim da tada umnožak logaritma broj 20, ako se to pojačanje/slabljenje izražava u decibelima.

Nekada je nemoguće odrediti snagu P_1 , koja se dovodi na ulaz sistema, ali je poznata i merljiva snaga P_2 . Tada se umesto izraza 1.9 upotrebljava količnik snage P_2 i neke fiksne snage.

Standardima je usvojeno da bude snaga od 1 mW. Da bi se jasno ukazalo da je izražena vrednost slabljenja data u odnosu na referentnu snagu od 1 mW, na kraj jedinice dodaje se oznaka "m". Tako je

$$a = 10 \log_{10} \frac{P_2}{1 \text{ mW}} \text{ (dBm)} \quad (1.11)$$

i čita se: "decibela u odnosu na referentnu snagu od jednog milivata" ili češće, skraćeno: "decibela u odnosu na milivat".

Slično se može modifikovati i izraz 1.10, s tim da se tada smatra da je količnik određen u odnosu na referentni napon od 774,6 mV. To je napon koji se dobija na krajevima impedanse od 600Ω kada se na njoj disipira referentna snaga od 1 mW. Za ovako određeno slabljenje na jedinicu se dodaje sufiks "u". Tako je

$$a = 20 \log_{10} \frac{U_2}{774,6 \text{ mV}} \text{ (dBu)} \quad (1.12)$$

i čita se: "decibela u odnosu na referentni napon".

Pored ovih oznaka za decibel od značaj su još i dBm0, dBr0, dBm0p, dBr i dBc, koje se koriste kada nije bitno izraziti odnos bilo koje dve snage, već snage u nekoj proizvoljnoj pristupnoj tački u odnosu na pogodno izabrano referentnu pristupnu tačku.

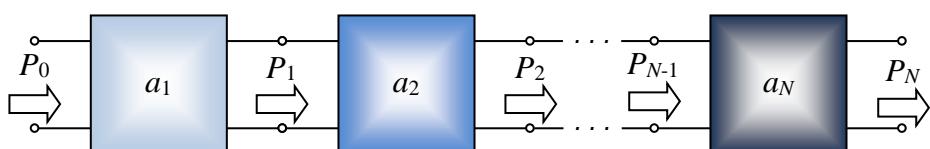
Oznaka dBm0 predstavlja jedinicu za slabljenje izraženo u dBm, ali koje je mereno u odnosu na tačku nultog nivoa prenosa 0-TLP (engl. *Zero Transmission Level Point*). Ova tačka se nekada naziva još i tačka nultog relativnog nivoa prenosa, pa se tada, umesto dBm0 koristi oznaka dBr0.

dBm0p predstavlja jedinicu za izražavanje logaritamskog odnosa snage šuma i referentne snage od 1 mW (dakle u dBm), gde je taj odnos meren psofometrom ili setom za merenje šuma koji je psofometrijski ponderisan.

dBr je jedinicu za izražavanje logaritamskog odnosa dve snage P_2 i P_1 . Pri tome je P_2 snaga u bilo kojoj pristupnoj tački u sistemu, a P_1 je snaga u referentnom pristupu, odabranom kao tačka nultog relativnog nivoa prenosa.

Oznaka dBc se odnosi na merenje džitera i faznog šuma u sistemu i predstavlja jedinicu za relativno slabljenje neke komponente u spektru signala u odnosu na snagu nosioca. Trebalo bi da se na srpskom čita kao: "decibela ispod nosioca", ali se u praksi u potpunosti odomaćio izvorni engleski izraz: "decibell below carrier".

Na slici 1.7 je prikazan slučaj mreže izrađene od više uzastopnih segmenata.



Slika 1.7. Nelinearna mreža sastavljena iz više segmenata

Ako su poznata pojedinačna slabljenje svih deonica $a_1, a_2 \dots a_N$, tada se ukupno slabljenje cele mreže dobija kao

$$\begin{aligned}
 a &= 10 \log_{10} \frac{P_N}{P_0} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_N}{P_{N-1}} \frac{P_{N-1}}{P_0} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_N}{P_{N-1}} \frac{P_{N-1}}{P_{N-2}} \frac{P_{N-2}}{P_0} \right) = \dots \\
 \dots &= 10 \log_{10} \left(\frac{P_N}{P_{N-1}} \frac{P_{N-1}}{P_{N-2}} \dots \frac{P_1}{P_0} \right) = \\
 &= 10 \log_{10} \frac{P_N}{P_{N-1}} + 10 \log_{10} \frac{P_{N-1}}{P_{N-2}} + \dots + 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_0} = \\
 &= a_1 + a_2 + \dots + a_N
 \end{aligned} \tag{1.13}$$

Zahvaljujući svojstvu logaritamske funkcije da proizvod prevodi u sumu, operacije sa decibelima mogu se, u velikom broju slučajeva, svesti na oduzimanje i sabiranje.

Složeniji problem nastaje kada se meri i izračunava uticaj jednog ili više sistema na neki drugi, kao kod merenja slabljenja preslušavanja. Merenje je moguće realizovati samo tako što se odrede pojedinačni uticaji svakog od sistema na posmatrani i izraze u dBm. Jednostavno sabiranje tako izmerenih nivoa slabljenja preslušavanja nije moguće, već se prvo moraju odrediti svi absolutni nivoi snage u vatima (W). Neka je uticaj k -tog sistema na posmatrani sistem (označimo ga indeksom m) opisan slabljenjem preslušavanja na bližem kraju a_k^{NEXT} (engl. *Near End CrossTalk - NEXT*). Tada je, na osnovu izraza $a = 10 \log_{10} (P / 1 \text{ mW})$

$$P_k^{NEXT} = 1 \text{ mW} \cdot 10^{\frac{a_k^{NEXT}}{10}} \tag{1.14}$$

Ukupna snaga preslušanog signala jednak je zbiru snaga pojedinačnih preslušavanja, to jest

$$P^{NEXT} = \sum_{k \neq m} P_k^{NEXT} = 1 \text{ mW} \cdot \sum_{k \neq m} 10^{\frac{a_k^{NEXT}}{10}} \tag{1.15}$$

Ukupno slabljenje preslušanog signala ili PSNEXT (engl. *Power Sum Near End CrossTalk*) se dobija kao

$$a_{SUM}^{NEXT} = 10 \log_{10} \frac{P^{NEXT}}{1 \text{ mW}} = 10 \log_{10} \left(\sum_{k \neq m} 10^{\frac{a_k^{NEXT}}{10}} \right) (\text{dBm}) \tag{1.16}$$

Isto se dobija i za preslušavanje na daljem kraju (engl. *Far End CrossTalk – FEXT*), kome, kod uticaja više sistema na jedan, odgovara ukupno (zbirno) preslušavanje na daljem kraju (engl. *Power Sum Far End CrossTalk*), dato kao

$$a_{SUM}^{FEXT} = 10 \log_{10} \frac{P^{FEXT}}{1 \text{ mW}} = 10 \log_{10} \left(\sum_{k \neq m} 10^{\frac{a_k^{FEXT}}{10}} \right) \text{ (dBm)} \quad (1.17)$$

Za spektralnu gustinu snage PSD koristi se jedinica vat po hercu (W/Hz), i njeni decimalni delovi, kao što su milivat po hercu (mW/Hz), mikrovat po hercu ($\mu\text{W}/\text{Hz}$) i nanovat po hercu (nW/Hz).

Logaritamskim odnosima spektralnih gustina snaga signala odgovaraju jedinice dB/Hz i dBm/Hz (izraz 1.18).

$$\rho = 10 \log_{10} \frac{PSD}{1 \text{ mW / Hz}} \text{ (dBm/Hz)} \quad (1.18)$$

Pri tome je veoma važno razumeti da nazivi jedinica dB/Hz i dBm/Hz nisu u skladu sa nomenklaturom Međunarodnog sistema jedinica. Uprkos korišćenju oznake "Hz" koja bi trebalo da predstavlja herc odnosno s^{-1} , jedinice dB/Hz i dBm/Hz su, zapravo, neimenovane jedinice, kod kojih oznaka "Hz" znači da je pod logaritmom formiran količnik dve spektralne gustine snage izražene u W/Hz ili mW/Hz.

Ako je poznata ukupna snaga nekog signala merena instrumentom sa ulaznim filtrom širine propusnog opsega B i ako je ta snaga izražena u dBm, tada se spektralna gustina snage tog signala u dBm/Hz, dobija tako što se od vrednosti ukupne snage u dBm oduzme

$$10 \log(B / 1 \text{ Hz}) \quad (1.19)$$

i dobijeni rezultat se izrazi u dBm/Hz.

Na primer, ako je širina propusnog opsega filtra 1 kHz i ukupna snaga šuma u odnosu na referentnu snagu od 1 mW iznosi -50 dBm, tada je spektralna gustina snage tog šuma

$$\rho = -50 \text{ dBm} - 10 \log \frac{1 \text{ kHz}}{1 \text{ Hz}} = -50 \text{ dBm} - 10 \cdot 3 \text{ dB} = -80 \text{ dBm/Hz} \quad (1.20)$$

Izvori i tokovi mernih informacija

Da bi se odredila brojna vrednost $\{X\}$ neke fizičke veličine X potrebno je obaviti odgovarajuće merenje. Kako su prilikom merenja neizbežne greške, sledi da će rezultat merenja uvek biti interval u kome se, sa određenom verovatnoćom, nalazi nepoznata brojna vrednost $\{X\}$. Jasno je da je rezultat merenja korisniji i pouzdaniji (ima veću vrednost), što su granice intervala uže a verovatnoća veća. Granice intervala određene su tačnošću i preciznošću merenja, dok se verovatnoća, da se izmerena veličina nalazi u iskazanim granicama, dobija procenom varijacija (dinamike) same veličine u toku trajanja merenja. Pod **tačnošću merenja** podrazumeva se bliskost slaganja rezultata merenja (ili srednje vrednosti rezultata kod višestrukih merenja) sa stvarnom vrednošću veličine. **Preciznost merenja** je mera rasipanja rezultata višestrukih merenja jedne iste veličine obavljenih pod istim uslovima (tzv. uslovima ponovljivosti).

Greške merenja

Ne postoji nešto tako kao što je tačno merenje. Svaki rezultat merenja sadrži grešku merenja koju ne možemo znati, jer ne znamo koji sve faktori (osim merene veličine) i kako utiču na dobijeni rezultat. Na primer: merimo dužinu mernom trakom. Međutim, dužina merne trake zavisi od temperature okoline. Temperatura okoline nije veličina koja se meri ali njene promene menjaju karakteristika mernog instrumenta i time stvaraju uslove i da rezultat merenja sadrži veću ili manju grešku. Na primer: merimo masu higroskopnog materijala vagom. Međutim, masa objekta merenja zavisi od vlažnosti vazduha. Vlažnost nije merena veličina ali njene promene menjaju karakteristike samog objekta merenja i time stvaraju uslove i da rezultat merenja sadrži veću ili manju grešku. Na primer: merimo temperaturu tečnosti u sudu živinim termometrom. Međutim, uranjanjem termometra u tečnost dolazi do promene temperature i tečnosti i termometra. Samim činom merenja mi menjamo karakteristike objekta merenja i time pravimo veću ili manju grešku. Ne postoji proces merenja toliko izolovan od delovanja faktora iz okruženja, ili samih mernih instrumenata, da na rezultat utiče samo merena veličina.

Dakle: nije pitanje da li je merenje tačno, već, da li smo u stanju da pravilno procenimo dezinformaciono dejstvo neizbežnih grešaka merenja.

Umećemo da ocenimo da li neko merenje ispunjava svoju svrhu tek ako, osim samog rezultata merenja, znamo i u kojim granicama oko dobijenog rezultata merenja možemo razumno da očekujemo da se nađe prava vrednost merene veličine. To ćemo znati ako je rezultatu merenja pridružen još jedan podatak – njegova merna nesigurnost. Ili, hajde da o rezultatatu merenja ne razmišljamo kao o broju, već, kao o intervalu u kome smatramo da se nalazi prava vrednost merenje veličine.

Određivanje ovog intervala je u najvećoj meri standardizovano, ali nas ni u kom slučaju ne može spasti potrebe da što je više moguće poznajemo sam proces merenja.

Mi intuitivno već osećamo šta su to greške merenja, ali hajde i da ih formalno definišemo

$$\text{Greška merenja} = \text{izmerena vrednost} - \text{prava vrednost} \quad (1.21)$$

Ako grešku merenja izražavamo u jedinicama u kojima se izražava i merena veličina, onda tu grešku nazivamo **apsolutna greška**. Ona je karakterisana svojom veličinom i znakom (ne treba je mešati sa pojmom moduo u matematici).

Relativnom greškom nazivamo kolичnik absolutne greške i prave (ili, praktično, izmerene) vrednosti merene veličine. To je tada neimenovani broj.

Ako relativnu grešku pomnožimo sa 100, dobijemo grešku izraženu u procentima. Da bi se bolje proučilo parazitno delovanje grešaka merenja, uobičajeno je da se uvedu podele grešaka, i to prema različitim kriterijumima. Jedan od opštijih kriterijuma je da se podela obavi prema načinu njihovog nastajanja. Prema ovom kriterijumu, greške se dele na grube, sistematske i slučajne.

Grube greške

Obično se pod grubim greškama podrazumevaju greške koje "mnogo" odstupaju od prave vrednosti merene veličine. Nastaju zbog subjektivnih razloga (nedovoljna pažnja operatera, loši uslovi merenja, rad sa neispravnom mernom opremom, nedovoljno poznavanje mernih metoda ili mernih instrumenata) ili objektivnih razloga (znatne smetnje u radu instrumenata, vremenski ograničenog i/ili slučajnog karaktera).

Dalji rad sa pojedinačnim rezultatom merenja koji sadrži grubu grešku može da dovede u pitanje vrednost celog merenja. Stoga je važno prisustvo grube greške otkriti a zatim takav rezultat eliminisati iz dalje obrade.

Grube greške se obično mogu uočiti "slobodnim okom" (ali ih treba tražiti) a postoji i veći broj različitih kriterijuma, zasnovanih na matematičkoj statistici.

Uklanjanjem subjektivnih razloga može se uticati na njihovo ređe pojavljivanje, ali se ne mogu potpuno elminisati.

Značaj otkrivanja grubih grešaka posebno raste kada se prikuplja i automatski obrađuje velik broj pojedinačnih rezultata merenja, gde operater nema direktni uvid u pojedinosti procesa prikupljanja i obrade rezultata. Tada je neophodno u algoritme obrade uključiti i rutine za otkrivanje grubih grešaka.

Sistematske greške

Sistematska greška je greška koja nastaje po nekoj zakonitosti. Ako se razume razlog njenog nastanka, može se predvideti njena veličina ili, nakon merenja, izvršiti korekcija dobijenog rezultata.

Primeri zakonitosti nastajanja sistematskih grešaka:

Časovnik (inače "tačan") koji je pogrešno podešen, pa kasni pet minuta (konstantna greška); kad god ga pogledamo, na sistematski način, dobićemo rezultat merenja koji odstupa za pet minuta od "tačnog" vremena. Ako razumemo način nastajanja greške merenja, možemo uvek da korigujemo očitano vreme, ili, konačno, da časovnik ispravno podesimo.

Sat koji kasni jedan minut na dan; znajući kada je časovnik poslednji put korigovan, bićemo u stanju da, uprkos evidentnoj sistematskoj greški, ne menjajući sam časovnik, uvek znamo "tačno" vreme.

Merenje temperature tečnosti termometrom; znajući izmerenu temperaturu i toplotne kapacitete termometra i tečnosti, možemo da izračunamo kolika je temperatura tečnosti bila pre samog merenja (što nas je, verovatno, i interesovalo).

Uzrok nastajanja sistematskih grešaka: Dejstvo uticajnih veličina. Ne postoji tako izolovan proces merenja na koji ne bi delovala ni jedna uticajna veličina.

Za otkrivanje sistematskih grešaka neophodno je poznavanje principa merenja, primenjene merne metode, upotrebljenih instrumenata i uslova pod kojima se merenje izvodi.

Poznavajući uzroke nastajanja, može se, u zavisnosti od svrhe i zahteva u pogledu tačnosti merenja, rezultat koji sadrži sistematsku grešku korigovati, utvrditi samo granice greške, ili rezultat ostaviti nekorigovanim.

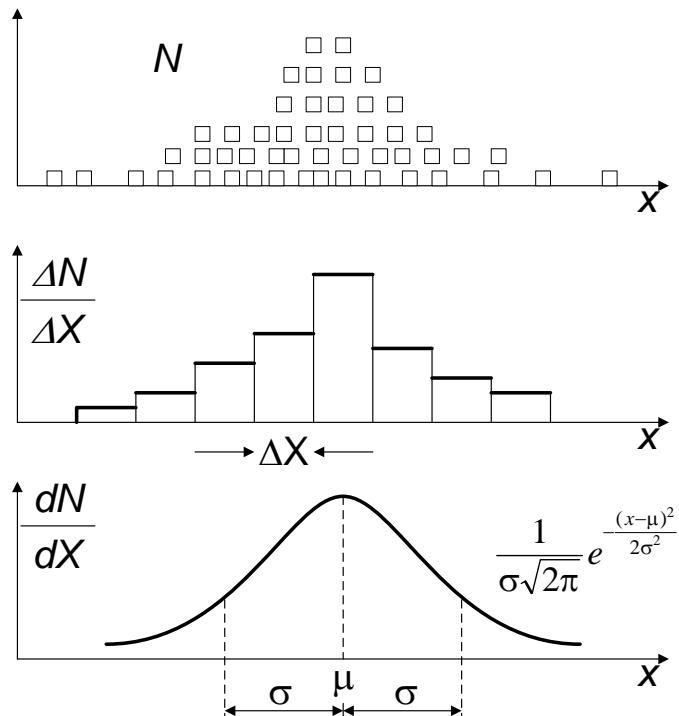
Slučajne greške

Jedan od načina da se poveća poverenje u rezultat merenja je da se, pod istim uslovima, vrše ponovljena merenja. Bez potrebe da se potežu teorijska razmatranja, eksperimentalna činjenica je da, kada se merenja ponavljaju, dobijeni rezultati se u manjoj ili većoj meri međusobno rasipaju. To se objašnjava delovanjem na slučajan način velikog broja različitih uticajnih veličina.

Na slici 1.8a je prikazana tipičan slučaj kod N ponovljenih merenja veličine x . Rezultati se nepredvidivo i haotično raspoređuju, ali kao da se grupišu, približno simetrično, oko nekih vrednosti.

Mogli bi smo da formiramo intervale, širine Δx , merene veličine x i da prebrojimo pojedinačne rezultate merenja koji pripadaju odgovarajućim intervalima, kao što je to urađeno na slici 1.8b. Dobio bi se tipičan dijagram frekvencija, dobro poznat u matematičkoj statistici.

Ako bi se neograničeno povećavao broj pojedinačnih merenja N , i, istovremeno, smanjivala širina intervala Δx , moglo bi se, uz još neke blage pretpostavke, stići do funkcije, prikazane na slici 1.8c, pomoću koje je moguće, na osnovu rezultata ponovljenih merenja, oceniti intervale u kojima se, razumno, nalazi prava vrednost merenje veličine.



Slika 1.8. Primer rasipanja pojedinačnih rezultata merenja na slučajan način

Ako se parametar μ zameni sa srednjom vrednošću dobijenom iz N pojedinačnih rezultata merenja \bar{x} ,

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1.22)$$

i parametar σ sa standardnim odstupanjem pojedinačnih rezultata merenja s ,

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1.23)$$

tada se može predvideti koliko se pojedinačnih rezultata merenja nalazi u nekom intervalu merene veličine. Dalje, a to nas konačno i interesuje, moći ćemo, na osnovu znanja matematičke statistike, da određujemo verovatnoće sa kojima se prava vrednost merene veličine nalazi u nekim zadatim intervalima merene veličine. Zaključci su sumirani u Tabeli 1.6.

Tabela 1.6. Intervali u kojima se nalaze
prave vrednosti merene veličine,
i njima odgovarajuće verovatnoće

p (%)	Interval
68,3	$\bar{x} \pm \frac{s}{\sqrt{N}}$
95,5	$\bar{x} \pm \frac{2s}{\sqrt{N}}$
99,7	$\bar{x} \pm \frac{3s}{\sqrt{N}}$

Sam

Sa verovatnoćom p od približno 68 % tvrdi se da se merena veličina x nalazi u intervalu $(\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{N}}, \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{N}})$ oko aritmetičke sredine \bar{x} .

Tačnost mernih instrumenata

termin *tačnost* je u nauci o merenju kvalitativnog karaktera. Tačnost opisuje bliskost rezultata merenja i prave vrednosti merene veličine. Termin koji kvantitativno opisuje ovu bliskost je, ustvari, greška merenja.

U skladu sa navedenim, pod **tačnošću mernih instrumenata** ćemo podrazumevati *sposobnost mernog instrumenta da daje odzive bliske pravoj vrednosti*.

Tačnost je jedna od osnovnih metroloških karakteristika svakog mernog instrumenta i može da se deklariše na više načina:

- Granicama absolutne greške;
Na primer, za ampermetar, $G = \pm 0,5 \text{ A}$, ili, drugim rečima, proizvođač ampermetra tvrdi da prava greška merenja, koju i dalje ne znamo, ne prelazi po veličini $0,5 \text{ A}$.
- Granicama relativne greške;
Na primer: za merilo otpornosti, $g = \pm 0,5 \%$; znači, za rezultat merenja od $1\,000 \Omega$, greška merenja nije veća od 5Ω .
- Formulom;
Na primer:
 $G = \pm(0,1 \% \text{ izmerene vrednosti} + 0,02 \% \text{ gornje granice mernog opsega} + 10 \mu\text{V})$
- Klasom tačnosti;

Na primer: Rezultati merenja voltmetrom opsega 150 V i klase tačnosti 1, ne bi trebalo da se razlikuju od prave vrednosti merenog napona za više od 1,5 V (ako je voltmeter ispravan).

- Tabelom;

Na primer:

a (podeoci)	$\pm G$ (%)
1	12
2	8
3	5
4	4
5-10	3

- Grafički

Račun greške

Najčešći slučaj u merenjima u telekomunikacijama je da je merena veličina x funkcija više približnih vrednosti poznatih i/ili prethodno merenih veličina. To se, u opštem slučaju može predstaviti funkcijom 1.24.

$$x = f(a, b, c) \quad (1.24)$$

Totalni diferencijal dx dat je izrazom 1.25.

$$dx = \frac{\partial f(a, b, c)}{\partial a} da + \frac{\partial f(a, b, c)}{\partial b} db + \frac{\partial f(a, b, c)}{\partial c} dc \quad (1.25)$$

i može se koristiti za procenu apsolutne greške merenja. Prelaskom na konačne intervale Δx dobija se da je

$$\Delta x = \frac{\partial f(a, b, c)}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial f(a, b, c)}{\partial b} \Delta b + \frac{\partial f(a, b, c)}{\partial c} \Delta c \quad (1.26)$$

S obzirom da znaci grešaka Δa , Δb , Δc nisu poznati, oni se zamenjuju svojim apsolutnim vrednostima kako ne bi došlo do mnijihovog međusobnog poništenja. Tada se 1.26 svodi na 1.27.

$$|\Delta x| = \left| \frac{\partial f(a, b, c)}{\partial a} \Delta a \right| + \left| \frac{\partial f(a, b, c)}{\partial b} \Delta b \right| + \left| \frac{\partial f(a, b, c)}{\partial c} \Delta c \right| \quad (1.27)$$

Pored totalnog diferencijala, u merenjima se koristi i pojам tzv. sigurnih granica grešaka merenja. Ako se neka veličina x dobija preračunavanjem veličina y_1, y_2, \dots, y_n , i ako su poznate granice grešaka ovih veličina $\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_n$ tada su sigurne granice relativne greške merenja ove veličine date izrazom 1.28.

$$|\Gamma_x| = \left| \frac{\Delta x}{x} \right| \leq \sum_{i=1}^n \left| \frac{d}{dy_i} \ln[f(y_1, y_2, \dots, y_n)] \right| \cdot |\Delta y_i| \quad (1.28)$$

Primer br. 1

$$x = \frac{a \cdot b}{c} \quad (1.29)$$

Diferencijalnim računom se dobija da je totalni diferencijal dat izrazom 1.30.

$$|\Delta x| = \left| \frac{\partial \left(\frac{ab}{c} \right)}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial \left(\frac{ab}{c} \right)}{\partial b} \Delta b + \frac{\partial \left(\frac{ab}{c} \right)}{\partial c} \Delta c \right| = \left| \frac{b}{c} \Delta a \right| + \left| \frac{a}{c} \Delta b \right| + \left| -\frac{ab}{c^2} \Delta c \right| \quad (1.30)$$

Kako je

$$\ln(x) = \ln(a) + \ln(b) - \ln(c) \quad (1.31)$$

sledi da su sigurne granice grešaka merenja date nejednakosću 1.32.

$$\left| \frac{\Delta x}{x} \right| \leq \left| \frac{\Delta a}{a} \right| + \left| \frac{\Delta b}{b} \right| + \left| -\frac{\Delta c}{c} \right| \quad (1.32)$$

Primer br. 2

$$x = a \pm b \quad (1.33)$$

Diferencijalnim računom se dobija da je totalni diferencijal merene veličine

$$|\Delta x| = \left| \frac{\partial(a \pm b)}{\partial a} \Delta a \right| + \left| \frac{\partial(a \pm b)}{\partial b} \Delta b \right| = |\Delta a| + |\Delta b| \quad (1.34)$$

S obzirom da je sada

$$\ln(x) = \ln(a \pm b) \quad (1.35)$$

sigurna granica greške merenja iznosi

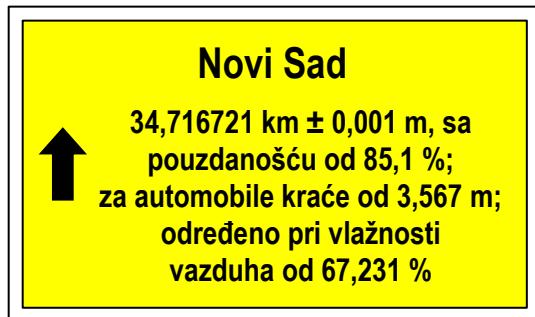
$$\left| \frac{\Delta x}{x} \right| \leq \left| \frac{\Delta a}{a \pm b} \right| + \left| \pm \frac{\Delta b}{a \pm b} \right| \quad (1.36)$$

Prikazivanje rezultata merenja

Izmereni interval i verovatnoća, zajedno sa podacima o uslovima i prepostavkama pod kojima je merenje obavljen, čine **mernu informaciju**. Primer potpune merne informacije je, recimo, rezultat merenja efektivne vrednosti naizmenične električne struje iskazan u obliku:

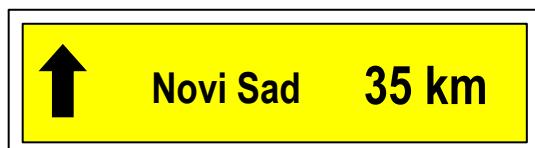
3 A ± 0,5 A, sa pouzdanošću od 99 %, određeno pri temperaturi od 26 °C, i nultim spoljašnjim magnetskim poljem, uz zanemarivanje skin efekta i viših harmonika.

Prilikom prikazivanja rezultata merenja treba pravilno dozirati količinu mernih informacija u zavisnosti od njene dalje primene. Gornji primer je dobar kada se mora insistirati na strogoj metrološkoj notaciji, ali za brojne slučajeve iz prakse, prevelika količina mernih informacija može biti kontraproduktivna. Zamislimo npr. saobraćani znak na autoputu koji vozače obaveštava o udaljenosti od najbližeg naseljenog mesta, na kome je iskazana potpuna merna informacija kao na slici 1.9.



Slika 1.9. Putokaz sa potpunom mernom informacijom

Za vozače, koji pored znaka prolaze tipičnom brzinom od 100 km/h, ovakva merna informacija ne samo da je neupotrebljiva, jer se u njoj ne mogu lako snaći (ako je uopšte mogu razumeti), već ona može predstavljati i ozbiljnu smetnju, ometati vozače predugim skretanjem pažnje i smanjiti opštu bezbednost u saobraćaju. Ogroman trud i troškovi obezbeđivanja i prikazivanja ovako detaljne merne informacije su besmisleni u poređenju sa uobičajenom, pojednostavljenom varijantom prikazanom na slici 1.4.



Slika 1.10. Putokaz sa redukovanim mernom informacijom

1.6. Mesto i uloga merenja u digitalnim telekomunikacijama

Dve veoma česte zablude vezane za merenja u digitalnim komunikacijama su:

- 1) tvrdnja da merenjima nije mesto u digitalnim komunikacijama, već ona to mesto treba da ustupi teoriji informacija i
- 2) brkanje nadležnosti poslova i zadatka iz oblasti merenja i iz oblasti održavanja i upravljanja telekomunikacionim mrežama i servisima (*network management-a*).

Prva tvrdnja posledica je nerazumevanja razlike u smeru toka mernih informacija i tolerancija u digitalnim telekomunikacionim sistemima i u klasičnom metrološkom sistemu analognih veličina (slika 1.2). Treba imati u vidu da se teorija informacija može primeniti samo pod pretpostavkom da sistem funkcioniše i da prenos informacija nije značajno degradiran. Ova pretpostavka nije ispunjena u situacijama kada u sistemu postoje otkazi, kvarovi ili kada se sistem nalazi u fazi razvoja i integracije. Osim toga, svaki digitalni telekomunikacioni sistem oslanja se u svojoj osnovi na svet analognih veličina (prvi sloj OSI referentnog modela) ili ga pak opslužuje.

Druga zabluda proističe iz činjenice da su neke od metodologija merenja identične sa metodologijama koji se primenjuju u poslovima i zadacima održavanja i upravljanja mrežama (*network management*).

Poslovi i zadaci merenja u digitalnim komunikacijama su:

- provera usklađenosti komponenti u sistemu sa relevantnim preporukama (npr. ITU-T)
- testiranje pogodnosti mreže
- monitoring kvaliteta usluga
- optimizacija planiranja i ekspanzije mreže
- ispitivanje neispravnih linija
- postavljanje novih instalacija
- provera novokonfigurisanih linija
- merenje opterećenja i naprezanja u sistemu
- statistička analiza
- obezbeđivanje prenosa informacija bez grešaka
- analiza komunikacionih protokola
- simulacija realnog ponašanja mreže i pojedinih grešaka u komunikaciji
- provera kabliranja putem merenja
- provera tolerancija greške
- rana detekcija i dijagnostika problema u komunikaciji
- testiranje tolerancija i ponašanja džitera u sistemu
- pronalaženje i rešavanje problema kompatibilnosti.

Za razliku od toga, poslovi i zadaci *network management-a* su:

- udaljeni nadzor novokonfigurisanih komponenti u sistemu
- brza reakcija na zahteve korisnika za određenim uslugama
- automatsko back-up rutiranje
- menadžment sistema različitih proizvođača

1. Osnove merenja u digitalnim telekomunikacijama

- menadžment geografski distribuiranih elemenata mreže
- prilagođavanje na promenu strukture mreže
- monitoring kvaliteta konekcije (statistika grešaka)
- efikasna upotreba kapaciteta mreže
- snimanje otkaza u sistemu.

Oblasti u kojima se naizgled prepliću nadležnosti merenja i *network management-a* su nadzor (monitoring) sistema i dugotrajna analiza i statistika. *Network management* se, uglavnom oslanja na prikupljanje podataka o greškama i primenu teorije informacija, dok merenja teže da objasne uzrok njihovog nastanka, često na fizičkom nivou, a ne samo na nivou teorije informacija.

Treba imati na umu da su procedure za nadzor, koje su ugrađene u sistem daleko moćnije kada se radi o kontinualnom nadgledanju velikog broja konekcija, od mernih procedura, koje su nezavisne od sistema i mogu nadzirati svega jednu ili dve fizičke veze istovremeno. Međutim, merne procedure daleko su fleksibilnije i mogu se primeniti u detekciji onih kvarova koje proizvođač nije mogao predvideti i ugraditi u sistem. Osim toga, ako je za nadzor potrebno angažovati procesor određene komunikacione opreme, tada je ili zanemaren aspekt automatskog nadzora ili su na račun nadzora degradirane performanse prenosa, pa je uvođenje merenja jedino ispravno raspoloživo rešenje.