



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Digital Broadcasting and Broadband Technologies (Master Studies)
Erasmus+ Project No. 561688-EPP-1-2015-1-XK-EPPKA2-CBHE-JP

This project has been founded with support from the European Commission
This publication[communication] reflects the views only of the author, and
the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of
the information contained therein.

DBBT

Digital Broadcasting & Broadband Technologies

Tehnologije pristupnih mreža

1. Razvoj tehnologija pristupnih mreža

Pristupna mreža (engl. *access network*) se sastoji od *lokalnih petlji* (engl. *local loops*) za koje se koristi i naziv *pretplatničke linije* (engl. *subscriber lines*) i pridružene mrežne opreme (pretplatnička linija je definisana preporukom ITU-T G.101). Lokalne petlje povezuju lokacije krajnjih korisnika usluge s *lokalnim centralama* (engl. *local exchanges*, skr. LEs).

Tradicionalna pristupna mreža sastoji se uglavnom od kablova koji sadrže na hiljade *upredenih parica* (engl. *twisted pairs*, skr. TPs), pri čemu svaku paricu formira par bakarnih provodnika. Parice se od lokalne centrale razvode do *krajnjih razdjelnika* (engl. *feeder distribution interfaces*, skr. FDI). Krajnji razdjelnici su tačke u pristupnoj mreži od kojih se upredene parice razvode sve do krajnjih korisnika usluge. Proračuni iz 2000. godine koje je provela firma Paradyne pokazali su da širom svijeta približno 700 miliona paričnih pretplatničkih linija povezuje rezidencijalne i poslovne korisnike s *javnom komutiranom telefonskom mrežom* (engl. *Public Switched Telephone Network*, skr. PSTN). Više od 95% lokalnih petlji sastoji se od jedne upredene parice koja podržava *tradicionalnu fiksnu analognu govornu telefonsku uslugu* (engl. *Plain Old Telephone Service*, skr. POTS). Najveći broj upredenih parica u pristupnoj mreži moguće je svrstati u kategoriju nazvanu *neoklopljena upredena parica* (engl. *unshielded twisted pair*, skr. UTP). Iako oklopanje smanjuje nivo interferencije i šuma u upredenoj parici, osnovni razlog za korištenje neoklopljenih parica u pristupnim mrežama je dimenzija kabla. Kabl zadanog prečnika može sadržati više UTP-a nego *oklopljenih upredenih parica* (engl. *shielded twisted pairs*, skr. STPs).

POTS

Dugo vremena je tradicionalna lokalna petlja korištena samo za POTS, te za prenos *podataka* (engl. *data*) i *faksimila* (eng. *facsimile*), koristeći pri tome isključivo standardne kanale korištene u POTS-u (skraćeno: POTS-kanali) *širine prenosnog opsega* (engl. *bandwidth*) 4 kHz (preciznije, od 300 do 3400 Hz). Prenos POTS-signalata tim kanalom je analogan u *osnovnom opsegu* (engl. *baseband*), a podaci i faksimili se prenose pomoću digitalnih modulacionih postupaka nad analognim *nosiocem* (engl. *carrier*). Iz tog razloga je tradicionalnu pretplatničku liniju moguće zvati i *analogna pretplatnička linija*.

Podaci su se prenosili analognom pretplatničkom linijom pomoću *modema za prenos signala POTS-kanalima* (engl. *voice-band modems* ili *dial-up modems*), čija maksimalna *brzina prenosa* (engl. *transmission rate*) iznosi 33,6 kbit/s. Dalji razvoj tih modema zaustavljen je na brzini od 56 kbit/s koju je moguće postići samo ako nema *analogno-digitalnih* (skr. A/D) konverzija na *komunikacionom putu* koji prolazi PSTN-om i povezuje modem s drugom krajnjom tačkom u komunikaciji. Dakle, modemi za prenos signala POTS-kanalima došli su do svoje gornje granične prenosne brzine koja zavisi od širine POTS-kanala i *odnosa srednje snage signala i srednje snage šuma* (skr. S/N). Jedan od osnovnih nedostataka analogne pretplatničke linije je nemogućnost istovremenog prenosa različitih vrsta informacija, npr. istovremeni prenos *govora i podataka* jednom upredenom paricom.

N-ISDN

Sljedeći korak u evoluciji lokalne petlje započeo je u osamdesetim godinama prošlog vijeka kad je u područje pristupnih mreža uvedena nova tehnologija nazvana *uskopojasna digitalna mreža integrisanih usluga* (engl. *Narrowband Integrated Services Digital Network*, skr. N-ISDN). Omogućavajući istovremeni prenos govora i podataka predstavljala je znatno poboljšanje u odnosu na analogne pretplatničke linije. Ako je *mrežni završetak* (engl. *network termination*, skr. NT) krajnjeg korisnika povezan s lokalnom centralom koja podržava N-ISDN-funkcionalnosti pomoću interfejsa *osnovne brzine* (engl. *Basic Rate Interface*, skr. BRI), tada brzina prenosa na *linku*, koji međusobno povezuje NT i LE, iznosi 160 kbit/s. BRI podržava istovremeni prenos dva kanala B informacione brzine (engl. *data rate*) 64 kbit/s, koji se koriste za prenos korisničkih informacija, i jednog kanala D brzine 16 kbit/s, koji se koristi za prenos signalizacije (engl. *signalling information*) i prenos podataka malom brzinom.

Interfejs *primarne brzine* (engl. *Primary Rate Interface*, skr. PRI) podržava istovremeni prenos 30 kanala B, od kojih svaki ima informacionu brzinu 64 kbit/s, jednog kanala D informacione brzine 64 kbit/s i jednog dodatnog kanala informacione brzine 64 kbit/s namijenjenog sinhronizaciji okvira, što ukupno čini 2,048 Mbit/s na interfejsu *korisnik-mreža* (engl. *user-to-network interface*, skr. UNI) N-ISDN-a. U Americi PRI ima informacionu brzinu 1,544 Mbit/s (po svakom okviru 23 kanala B, jedan kanal D i jedan bit po okviru namijenjen sinhronizaciji okvira). Iz perspektive kućnih korisnika, osnovni nedostatak PRI-a je u tome što se on izgrađuje nad E1/T1 linijama, pri čemu svaka takva linija koristi dvije upredene parice, po jednu za svaki smjer prenosa između krajnjeg korisnika i lokalne centrale. Stoga je PRI uglavnom namijenjen poslovnim korisnicima.

U narednom periodu je standardizaciona organizacija ITU (engl. *International Telecommunication Union*) definisala koncept prema kojem *širokopojasne* (engl. *broadband*) komunikacije koriste brzine prenosa veće od onih koje pruža PRI. U skladu sa tim, praktična donja granica za širokopojasne komunikacije iznosi 2 Mbit/s. Budući da lokalnu petlju uglavnom koriste rezidencijalni (kućni) krajnji korisnici i male firme (ta grupa korisnika je zajednički nazvana SOHO, što je skraćena od engleskog naziva *Small Office Home Office*), prenosne brzine podržane N-ISDN-om bile su zadovoljavajuće tokom dužeg vremenskog razdoblja. Međutim, danas su usluge poput brzog pristupa Internetu, kao i ostale aplikacije i usluge koje su zahtjevne u pogledu prenosnog pojasa, postale uobičajeni zahtjev SOHO-korisnika.

Kablovski modemi

Kablovski modemi (engl. *cable modems*), primarno korišteni za kablovsku televiziju (engl. *cable television*, skr. CATV), nude velike brzine prenosa: do 30 Mbit/s u dolaznom i do 1 Mbit/s u odlaznom smjeru. Pri tome, na brzinu izrazito utiče broj korisnika priključenih na sabirničku kablovsku mrežu. Veze ostvarene kablovskim modemima nisu same po sebi pouzdane, obzirom da mreža ima sabirničku topologiju i svaki korisnik spojen na *sabirnicu* (engl. *bus*) emituje (engl. *broadcast*) svoje podatke svim ostalim korisnicima na sabirnici. Imajući u vidu mogućnost obnavljanja signala, domet kablovskih modema nije ograničen unutar područja koje pokriva provajder kablovske usluge.

E1/T1

E1/T1-usluga je prvenstveno namijenjena velikim poslovnim korisnicima i institucijama. *Djelimični E1/T1* (engl. *fractional E1/T1*), tj. $N \times 64$ kbit/s, $1 \leq N \leq 31$ / $1 \leq N \leq 24$, mogao bi biti odgovarajuće rješenje za male firme. Korištenje E1/T1-usluge zahtijeva primjenu dvije upredene parice, dok je većina SOHO-korisnika povezana s lokalnom centralom pomoću samo jedne parice. To je drugi važan razlog zbog kojeg se E1/T1 ne uklapa u potrebe SOHO-korisnika. Pored navedenog, E1/T1 je ujedno i skupa usluga. Istorijski gledano, telefonske kompanije su uvijek naplaćivale veće mjesečne sume za E1/T1-usluge, i to u rasponu od 600 USD do 2000 USD, što je znatan iznos u poređenju s cijenama između 15 USD i 50 USD mjesečno za analognu pretplatničku liniju (izvor: Paradyne, 2000.g.). Praksa pokazuje da je za korištenje E1/T1-usluge potrebno instalirati posebne E1/T1-sklopove kako bi bilo moguće podržati relativno velike brzine prenosa koje te usluge pružaju. *Zakupljeni* (engl. *dedicated*) pristup pomoću E1/T1- interfejsa je skup djelimično i zbog dužine trajanja i troškova izgradnje interfejsa neophodnog za uspostavljanje E1/T1-usluge, kao i zbog troškova trajnog održavanja takve usluge.

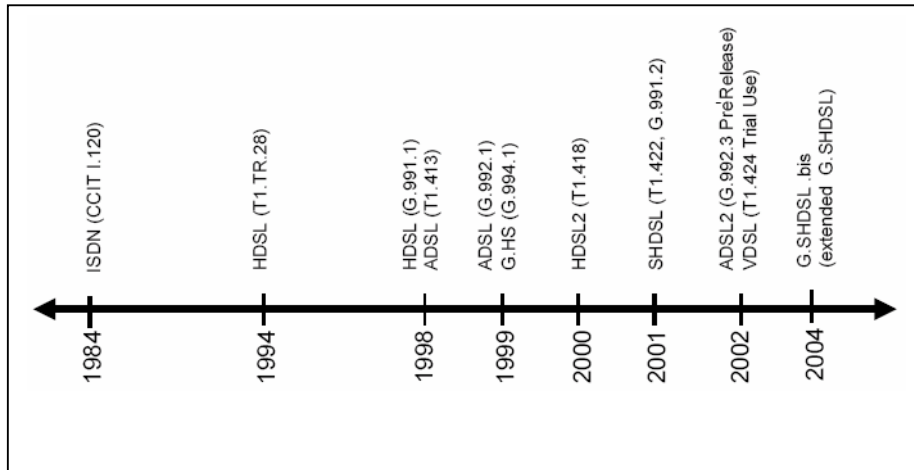
Tradicionalne tehnike linijskog kodovanja korištene na E1/T1-linkovima omogućavaju postizanje relativno kratkog dometa komunikacije. Kao neposredni rezultat, implementacija E1/T1-usluge preko dugačkih lokalnih petlji zahtijeva razdvajanje linkova u višestruke dionice međusobno povezane *regeneratorima* (engl. *regenerators*), odnosno obnavljačima (engl. *repeaters*) koji na svom ulazu detektuju primljeni signal, obnavljaju ga i šalju prema sljedećoj dionici. Regeneratorsku opremu je potrebno postaviti na udaljenost između 600 i 900 metara od krajeva prenosnog linka (engl. *transmission link*), te na udaljenost između 900 i 1800 m između obnavljača, zavisno od prečnika provodnika parice. E1/T1-prenosna oprema ne može djelovati na lokalnim petljama s *premoštenim odvojcima* (eng. *bridged taps*). Dakle, prije instalacije E1/T1-opreme potrebno je ukloniti sve premoštene odvojke.

DSL-tehnologije

Tehnologije *digitalne pretplatničke linije* (engl. *digital subscriber line*, skr. DSL) su tehnologije pristupa *jezgrenom* (engl. *core*) mreži pomoću fiksnih linija (prema podacima ITU organizacije, u svijetu je krajem 2003.g. bila instalirana 1,1 milijarda fiksnih pristupnih linija). Generički naziv xDSL se često koristi kako bi se njime označile sve DSL-tehnologije ili bilo koja od njih pojedinačno. xDSL se razvio zahvaljujući najviše brzom pristupu Internetu kao i razvoju širokopojasnih komunikacija. DSL-tehnologije, koje nude znatno veće brzine prenosa nego BRI (neke nude brzine veće i od PRI-a), postale su vodeća tehnologija za realizaciju širokopojasnog pristupa. Počeci xDSL-a su osamdesete godine prošlog vijeka (slika 1.1).

Međutim, 90-ih godina je započeo ubrzani masovni razvoj i primjena xDSL-a. *Digitalna pretplatnička linija velike brzine prenosa* (skr. od engl. *High Bit-rate DSL*, HDSL) je bila prva DSL-tehnologija koja je doživjela uspjeh na tržištu, *asimetrična digitalna pretplatnička linija* (engl. *Asymmetric DSL*, skr. ADSL) je doživjela najveći rast na tržištu, dok *digitalna pretplatnička linija vrlo velike brzine prenosa* (skr. od engl. *Very high data rate DSL*, VDSL) i dalje nudi najveće brzine od svih DSL tehnologija. Neke DSL-tehnologije podržavaju istovremeni prenos *DSL-podataka* (engl. *DSL data*) i POTS-a jednom upredenom paricom (npr. ADSL), tj. koncept koji se naziva *DSL over POTS*. Takođe, neke DSL-tehnologije podržavaju i istovremeni prenos BRI-kanala i DSL-podataka zajedničkom lokalnom petljom, npr. *ADSL over ISDN*.

Slika 1.1 Vremenski tok razvoja DSL-tehnologija



Osnovnu podjelu DSL-tehnologija moguće je izvršiti na sljedeći način: asimetrične DSL-tehnologije i simetrične DSL-tehnologije. Simetričnost se u ovom kontekstu odnosi na brzine prenosa u dolaznom i odlaznom smjeru. Ako su te dvije brzine međusobno jednake, tada posmatrana DSL-tehnologija pripada grupi simetričnih DSL-tehnologija. U suprotnom, radi se o asimetričnoj DSL-tehnologiji. Tabela 1.1 daje pregled najznačajnijih DSL-tehnologija podijeljenih prema simetričnosti usluge koju pružaju.

Tabela 1.1 Simetrične i asimetrične DSL-tehnologije i odgovarajući standardi

Asimetrične DSL-tehnologije	Simetrične DSL-tehnologije
CAP ADSL – nije standard	SDSL – vlasnički standardi
G.dmt – ITU-T G.992.1	HDSL – G.991.1, ETSI TS 101 135, ANSI T1.4-TR28
ADSL over ISDN – ITU-T G.992.1, Annex B	HDSL2 – ANSI T1.418
DMT2 – ANSI T1.413.2	IDSL – ISDN over DSL
G.lite – ITU-T G.992.2	
G.dmt.bis (ADSL2) – ITU-T G.992.3	SHDSL – ITU-T G.991.2, ETSI TS 102 524, ANSI T1.422
G.lite.bis (half-rate ADSL2) – ITU-T G.992.4	
ADSL2plus – ITU-T G.992.5	
VDSL – ITU-T G.993.1	
VDSL2 – ITU-T G.993.2	

Tehnologije koje konkurišu xDSL-u na telekomunikacionom tržištu

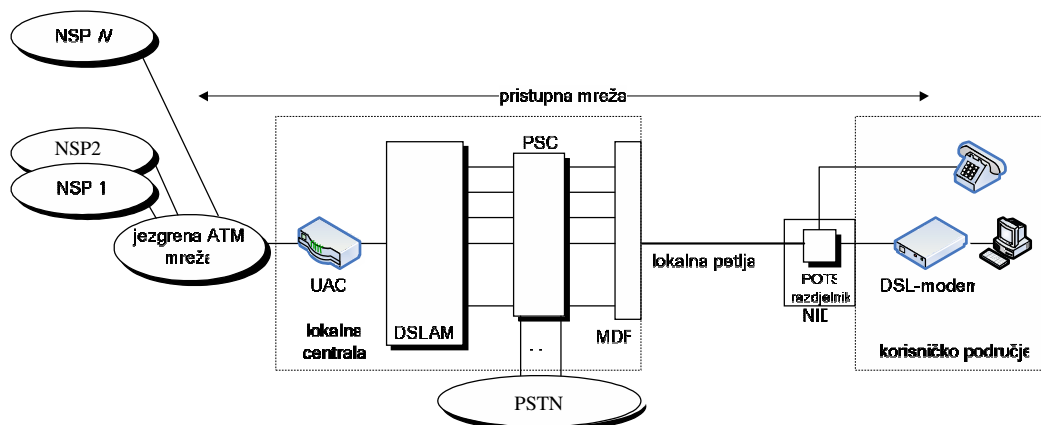
xDSL ima jaku i brojnu konkurenciju na telekomunikacionom tržištu. Jedan od konkurenata je HFC (skr. od engl. *Hybrid Fiber-Coaxial*), tehnologija raspodijeljenog pristupa mediju koja je dobro prilagođena analognom i digitalnom prenosu signala, ali još nije široko prihvaćena kao tehnologija adekvatna za istovremeni prenos POTS-kanala, interaktivnog videa i brzog prenosa podataka.

Takođe, tehnologija FTTH (skr. od engl. *Fiber to the Home*) još uvijek predstavlja vrlo skupu alternativu xDSL-u. Alternativa FTTH-u, koja predstavlja kombinaciju optičkih vlakana i upredenih parica do krajnjeg korisnika, naziva se skraćeno FTTN (od engl. *Fiber to the Neighborhood*). Tim pojmom su obuhvaćene tehnologije FTTC (skr. od engl. *Fiber to the Curb*), koja se temelji na konceptu kratke završne ekstenzije od glavnog kabla do korisničkog područja (engl. *customer premises*) i FTTB (skr. od engl. *Fiber to the Building*), koja je namijenjena za primjenu u zgradama.

Najveći konkurent xDSL-u danas su *bežične* (engl. *wireless*) tehnologije. Pored njihove fleksibilnosti u primjeni koja je veća nego kod xDSL-a, bežične tehnologije predstavljaju najjeftinije rješenje za izgradnju lokalne petlje, posebno u područjima gdje nije postavljena infrastruktura paričnih ili koaksijalnih kablova. Istovremeno, mnoga postojeća bežična rješenja još uvijek nisu dovoljno razvijena; mnoge bežične tehnologije nisu u potpunosti standardizovane, niti su prihvaćene na globalnom nivou. Konačno, od svih raspoloživih pristupnih tehnologija upravo su bežični linkovi izloženi najvećim smetnjama u prenosu. Korisnicima koji su već odranije povezani s lokalnom centralom pomoću upredene parice, xDSL još uvijek predstavlja najbolje rješenje širokopojasnog pristupa. Dalji razvoj xDSL-a ima dobru perspektivu i opravdan je ekonomskim razlozima.

2. Osnovna konfiguracija DSL-a

Slika 2.1 prikazuje osnovnu konfiguraciju DSL-a. *Personalni računar (PC)* ili njegov *uređaj za integrisani pristup* (engl. *integrated access device*, skr. IAD) povezan je s lokalnom petljom pomoću DSL-modema.



Slika 2.1 Osnovna konfiguracija DSL-a s podrškom za POTS

DSL-modem ima dvije varijante: asimetrična primopredajna jedinica (engl. *Asymmetric Transceiver Unit-Remote*, skr. ATU-R) ili simetrična primopredajna jedinica (engl. *Symmetric Transceiver Unit-Remote*, skr. STU-R). Mnogi proizvođači komunikacione opreme implementiraju komutacione (engl. *switching*) ili usmjeravačke (engl. *routing*) module u svoje DSL-mođeme. U takvom scenariju korisničkog područja (engl. *customer premises*), PC ili IAD je povezan s DSL-modemom pomoću Ethernet-linka 10/100BASE-T.

Za nazive smjerova prenosa DSL-om koristi se sljedeća konvencija: smjer od lokalne centrale prema korisničkom području naziva se *dolazni smjer* (engl. *downstream* ili *downlink*), dok se suprotan smjer prenosa naziva *odlazni smjer* (engl. *upstream* ili *uplink*). Ako se upredenom paricom istovremeno s DSL-podacima prenosi i POTS-saobraćaj, ATU-R je obično povezan s paricom pomoću POTS-razdjelnika (engl. *POTS splitter*) koji u dolaznom smjeru odvaja POTS-saobraćaj od DSL-saobraćaja. POTS-razdjelnik je ujedno integrisan u *mrežni interfejs* (engl. *network interface device*, skr. NID). Generalno, NID je tačka koja označava granicu između lokalne petlje i korisničkog područja. Ponekad se u korisničkom području umjesto razdjelnika koriste *mikrofiltri* (engl. *microfilters*). Prednost mikrofiltara je u tome što ga krajnji korisnik može samostalno instalirati.

Na drugom kraju DSL-linka, tj. u lokalnoj centrali, lokalna je petlja ožičena na *glavni razdjelnik* (engl. *main distribution frame*, skr. MDF), koji povezuje krajnje DSL-korisnike direktno s *pristupnim DSL-multiplekserom* (engl. *digital subscriber line access multiplexer*, skr. DSLAM), odnosno, s modemskim DSL-karticama ugrađenim u DSLAM.

Takva modemska DSL-kartica naziva se ATU-C ili STU-C (slovo C u skraćenici potiče od američkog naziva za lokalnu centralu, tj. *central office*), zavisno od toga da li je prenos nekim DSL-linkom nesimetričan ili simetričan. Modemske DSL-kartice imaju promjenjiv broj priključaka. Svaki krajnji korisnik direktno je povezan s nekim od tih priključaka, pri čemu svaki priključak obavlja funkcije *fizičkog sloja* (engl. *physical layer*, skr. PHY), tj. prvog, odnosno najnižeg sloja korištene arhitekture protokola. Najnovija generacija DSLAM-ova ima ugrađenu funkcionalnost mrežnog sloja utemeljenu na protokolu IP (engl. *Internet Protocol*). Zbog navedenog, takvi DSLAM-ovi se nazivaju i *IP/DSL-komutatori* (engl. *IP/DSL switches*). IP/DSL-komutatore je moguće programirati tako da podržavaju i *diferencirano posluživanje* (engl. *differential queuing*) utemeljeno na *dogovoru o nivou pružanja usluge* (engl. *service level agreement*, skr. SLA). U IP/DSL-komutatore ugrađena je i funkcionalnost multipleksiranja na fizičkom sloju.

DSLAM multipleksira DSL-saobraćaj koji potiče od mnogobrojnih krajnjih DSL-korisnika na brzu jezgenu ATM-mrežu (ATM-*Asynchronous Transfer Mode*, *asinhroni način transfera*) posredstvom tzv. *univerzalnog pristupnog koncentratora* (engl. *universal access concentrator*, skr. UAC) smještenog u lokalnoj centrali. Pored DSL-saobraćaja, UAC može takođe koncentrisati i ostale vrste saobraćaja. UAC bira provajdera *mrežne usluge* (engl. *network service provider*, skr. NSP) kojem je potrebno proslijediti podatke krajnjih korisnika, te zatim usmjerava ili komutira podatke prema brzom *glavnom linku* (engl. *trunk*) prema odabranom NSP-u.

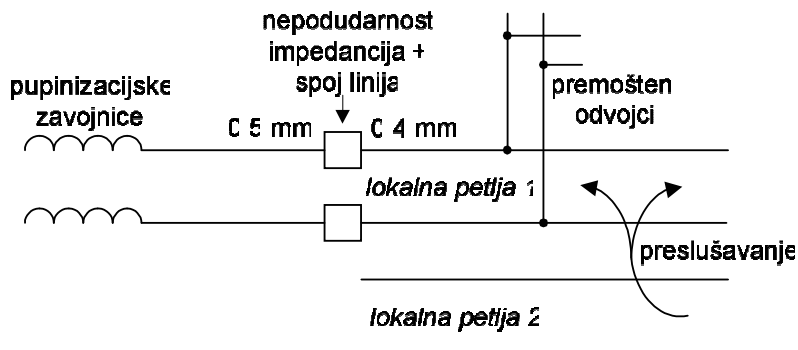
Kad se POTS-saobraćajni *tokovi* (engl. *traffic flows*) prenose zajedno s podacima istim lokalnim petljama (DSL over POTS), POTS-saobraćaj i podaci se u lokalnoj centrali frekvencijski razdvajaju pomoću *višestrukog POTS-razdjelnika* (engl. *POTS splitter chassis*, PSC). U PSC-u se POTS-saobraćaj odvaja prema PSTN-u, a podaci prema priključcima modemskih DSL-kartica smještenih u DSLAM-u. POTS-razdjelnici su pasivni uređaji što znači da i u slučaju prestanka napajanja DSLAM-a električnom energijom ili nekog drugog kvara na DSLAM-u, POTS-saobraćaj ostaje sačuvan.

3. Smetnje u prenosu DSL-om

U poređenju s modemima za prenos signala POTS-kanalima, DSL-tehnologije omogućavaju postizanje znatno većih brzina i to upravo zbog činjenice da kod xDSL-a ne postoji ograničenje širine kanala na opseg od 300 do 3400 Hz. Međutim, proširenje prenosnog opsega dovodi do većeg *slabljenja* (engl. *attenuation*) signala, kao i do mnogih drugih problema koji su bili zanemarivi u prenosu POTS-kanalima. Iskoristiva širina prenosnog pojasa lokalne petlje zavisi od brojnih faktora, kao što su dužina petlje, karakteristična impedansa linije, srednja snaga signala, frekvencija signala i tehnika linijskog kodovanja. Što je viša frekvencija signala, to je veće i njegovo slabljenje, te samim tim signal postaje slabiji na ulazu u prijemnik na drugom kraju lokalne petlje, a to povećava vjerovatnoću greške prilikom detekcije primljenih simbola.

Dominantna pitanja vezana uz smetnje i štetne uticaje na digitalne pretplatničke linije su sljedeća (slika 3.1):

- slabljenje signala,
- premošteni odvojeci,
- *Pupinovi kalemovi* (engl. *loading coils*),
- *neprilagođenja impedansi* (engl. *impedance mismatches*),
- *preslušavanje* (engl. *crosstalk*).



Slika 3.1 Smetnje u prenosu DSL-om

3.1. Prigušenje signala i ograničenje dometa prenosa

Korištenje viših frekvencija prilikom prenosa signala upredenim paricama, prije svega radi podrške bržim uslugama, rezultuje između ostalog i kraćim dometom prenosa lokalnom petljom. Razlog su gubici snage signala, koji su veći što je i frekvencija signala viša. Dakle, što je veće slabljenje signala (tj. gubici snage signala) u nekoj lokalnoj petlji, to je kraći i domet prenosa tom petljom. Jedan od načina za minimiziranje slabljenja signala je upotreba provodnika manje otpornosti. Deblji provodnici imaju manju otpornost nego tanki, što znači manje slabljenje signala i veći domet prenosa. Naravno, korištenje provodnika većeg prečnika ima za posljedicu veće dimenzija kabela, iz čega proizlaze i veći troškovi izgradnje kablovske infrastrukture.

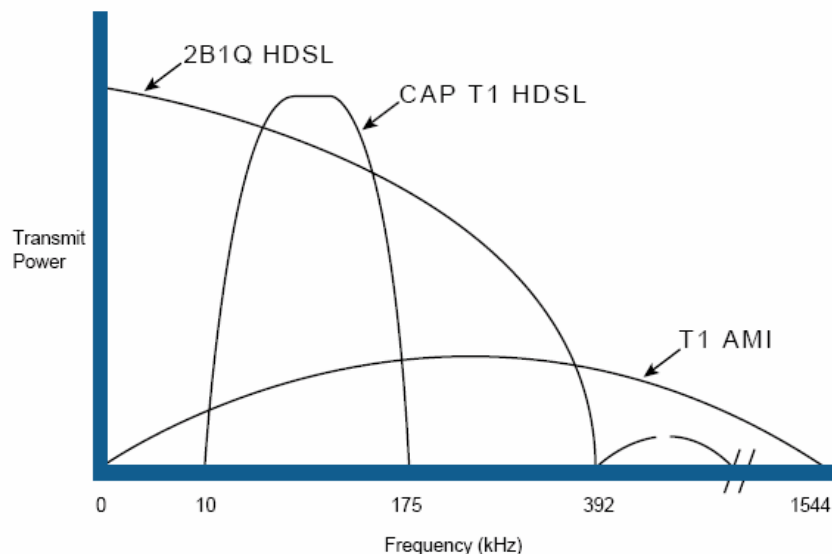
Zbog toga telekomunikacione kompanije prilikom projektovanja kablovske infrastrukture koriste provodnike najmanjeg prečnika koji je dovoljan za podršku željenim uslugama.

Svaki par metalnih provodnika koji čine upređenu paricu moguće je opisati pomoću četiri osnovna električna elementa: otpornost (R), kapacitivnost (C), induktivnost (L) i provodnost (G), izraženih u odgovarajućim jedinicama po kilometru (npr. jedinica za R je Ω/km).

Na slabljenje signala u parici dominantno utiče njena otpornost. Kao što je poznato, R je obrnuto proporcionalan prečniku provodnika koji čine paricu. U SAD-u se debljina provodnika predstavlja jedinicom nazvanom AWG (skr. od engl. *American Wire Gauge*). 24 AWG i 26 AWG su prečnici provodnika koji su najčešće prisutni u većini kablovske instalacije u Sjevernoj Americi. U većini ostalih zemalja, prečnik provodnika se umjesto AWG-om izražava u milimetrima. Na primjer, prečnik od 0,4 mm je uporediv sa 26 AWG, a prečnik od 0,5 mm je uporediv sa 24 AWG, a najčešće su zastupljeni u kablovskoj infrastrukturi većine zemalja. Ipak, u nekim zemljama koriste se i provodnici većeg prečnika, u rasponu od 0,6 do 0,9 mm.

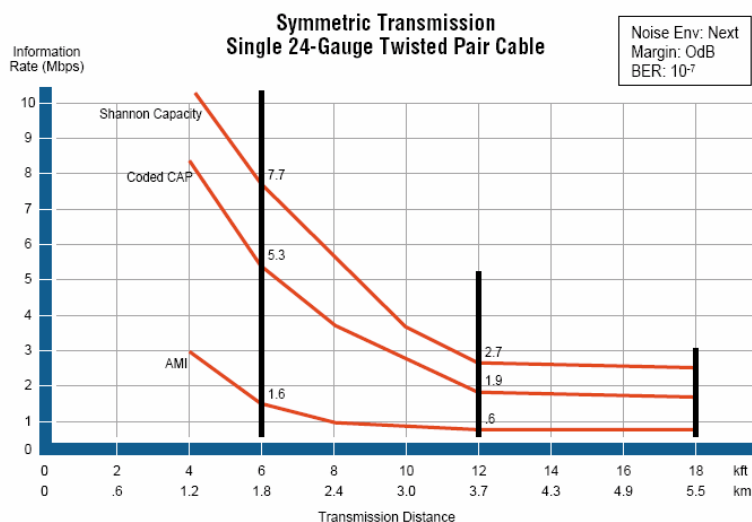
Slabljenje signala u lokalnoj petlji moguće je adekvatnim modulacionim tehnikama smanjiti na minimum. Dobar primjer je HDSL. U ranim devedesetim godinama prošlog vijeka, neki proizvođači komunikacione opreme su koristili linijski kod 2B1Q (dva bita prenose se jednim kvaternarnim simbolom) kao alternativni način pružanja E1/T1-usluga bez korištenja regeneratora. Tehnika se sastojala u razdvajanju niza bita brzine 2,048 Mbit/s (E1), odnosno 1,544 Mbit/s (T1), na dvije parice. Prenosom usluge dvjema linijama, te povećanjem broja bita prenijetih po svakom simbolu, linijsku brzinu, izraženu brojem simbola prenijetih u sekundi, odnosno brojem bauda, i potrebnu širinu prenosnog opsega moguće je smanjiti kako bi se postigao veći domet prenosa lokalnom petljom. Govoreći konkretno o T1, primjena navedene tehnike je rezultovala T1-uslugom utemeljenom na HDSL-u, s dometom prenosa od 3658 m bez korištenja regeneratora, pretpostavljajući pri tome da prečnik provodnika petlje iznosi 0,5 mm (domet prenosa takve usluge iznosi 2743 m, ako pretpostavimo da prečnik provodnika petlje iznosi 0,4 mm).

Paralelno s inicijativom za korištenje linijskog koda 2B1Q, firma Paradyne (u to vrijeme još pod kontrolom AT&T-a) je započela razvoj sličnog HDSL-primopredajnika koji koristi *amplitudno-faznu modulaciju bez prenosa nosioca* (engl. *Carrierless Amplitude/Phase*, skr. CAP). CAP je moguće dizajnirati tako da prenosi dva ili više bita po simbolu. To je CAP-primopredajnicima omogućilo da, koristeći niže područje frekvencijskog spektra nego 2B1Q-HDSL, prenesu istu količinu informacije na veće udaljenosti (usljed manjeg prigušenja signala u nižem području spektra). Konačno, zbog prihvaćenosti linijskog koda 2B1Q u N-ISDN-u i poboljšanih performansi CAP-a, obje je tehnike podržao odbor za standardizaciju HDSL-a *Američkog nacionalnog standardizacijskog instituta* (engl. *American National Standards Institute*, skr. ANSI) i *Evropskog telekomunikacionog standardizacionog instituta* (engl. *European Telecommunications Standardization Institute*, skr. ETSI).



Slika 3.2 Poređenje širine prenosnih opsega koje koriste T1 i HDSL (izvor: Paradyne, 2000.) – na apscisi je prikazana frekvencija u kilohercima (KHz), a na ordinati relativna snaga predajnika

Neki proizvođači telekomunikacione opreme su razvili HDSL-uređaje koji koriste prenosne tehnike različite od 2B1Q i CAP-a. Međutim, to su rijetki slučajevi i njih standardizacione organizacije nisu uzele u razmatranje. Slika 3.2 prikazuje poređenje prenosnog opsega koju koristi konvencionalni prenos T1-ustuge utemeljen na linijskom kodu AMI (skr. od engl. *Alternate Mark Inversion*), odnosno na njegovoj varijanti B8ZS. Slika pokazuje da AMI-T1 koristi skoro 4 puta širi pojas frekvencija nego 2B1Q-HDSL i skoro 9 puta širi pojas od onog kojeg koristi CAP-DSL. Slika 3.3 prikazuje poređenje brzina prenosa i dometa prenosa lokalnom petljom prilikom korištenja linijskog koda AMI i modulacije CAP, prikazujući i *kapacitet informacionog kanala izračunat u skladu sa Shannonovom teoremom* (engl. *Shannon capacity*), koji predstavlja maksimalnu teoretsku brzinu prenosa u lokalnoj petlji zadatih obilježja.



Slika 3.3. Poređenje brzina prenosa i dometa simetričnog prenosa jednom upredenom paricom prečnika 0,5 mm (izvor: Paradyne, 2000.) – na apscisi je prikazan domet prenosa u km (i ft), na ordinati informaciona brzina u Mbit/s, pretpostavljeni parametri prenosa su: izvor šuma je NEXT, S/N margina je 0 dB, a vjerovatnoća bitske greške (skr. BER) iznosi 10^{-7}

Pored "normalnog" slabljenja signala uzrokovanog prečnikom provodnika, dodatni izvor slabljenja signala predstavljaju *kablovski spojevi* (engl. *cable splices*). Kablovi namijenjeni prenosu POTS-a proizvode se u namotajima ograničene dužine (obično do nekoliko stotina metara). Istovremeno, mnoge su lokalne petlje dugačke i po nekoliko kilometara. Za kreiranje takvih petlji potrebno je nekoliko kablovskih spojeva. Nivo slabljenja signala kojeg uzrokuju kablovski spojevi zavisi od vrste spoja i od količine korozije unutar spoja. Svaki kablovski spoj duž linije doprinosi povećanju otpornosti lokalne petlje, povećavajući na taj način ukupno slabljenje signala u petlji. Rješenje za smanjenje slabljenja signala je upotreba regeneratora. Regeneratori mogu znatno povećati maksimalni ostvarivi domet komunikacije lokalnom petljom. U današnje vrijeme regeneratore je moguće koristiti u gotovo svim varijantama xDSL-a, simetričnim i asimetričnim. Postoji jedan problem kojeg je prilikom planiranja upotrebe regeneratora potrebno uzeti u razmatranje: regeneratori su aktivni mrežni elementi kojima je potrebno stalno napajanje električnom energijom. Postoji nekoliko načina za rješavanje tog problema, ali je filozofija većine mrežnih planera takva da se upotreba regeneratora izbjegava kad god je to moguće, ili se broj regeneratora po svakoj lokalnoj petlji svede na minimum.

3.2. Mjere za otklanjanje smetnji u prenosu DSL-om

Najznačajnije mjere koje mogu biti korištene za otklanjanje smetnji u prenosu DSL-om su sljedeće:

- *automatsko prilagođenje brzine prenosa* (engl. *automatic rate adaptation*),
- različito kašnjenje za različite vrste saobraćaja,
- S/N margina,
- testiranje lokalne petlje.

Automatsko prilagođenje brzine prenosa

Starije verzije ADSL-a imaju fiksnu dolaznu i odlaznu brzinu. Sve novije verzije te tehnologije koriste tehnike automatskog prilagođenja brzine prenosa. Shodno tome, odgovarajuće ime za ADSL je *DSL s mogućnošću prilagođenja brzine prenosa* (engl. *rate adaptive digital subscriber line*, skr. RADSL). Osnovna ideja prilagođenja brzine prenosa je očuvati domet DSL-sistema prilagođavanjem brzine trenutnom stanju lokalne petlje. Prilagođenje brzine prenosa koristi se podjednako u starijim CAP-ADSL-sistemima i u novijim DMT-ADSL-sistemima.

Različito kašnjenje za različite vrste saobraćaja

Jedno od osnovnih rješenja za otklanjanje smetnji u prenosu DSL-om je dozvoliti određeni iznos *kašnjenja* (engl. *latency, delay*) sa ciljem korekcije grešaka. Na primjer, ADSL podržava dva različita kašnjenja (za kašnjenje u ovom kontekstu koristi se engleski termin *latency path*) za prenos podataka lokalnom petljom. Dva različita kašnjenja su utemeljena na činjenici da su usluge podataka manje osjetljive na kašnjenje nego usluge realizovane u realnom vremenu, poput videa i audia. ADSL koristi tzv. *brzu putanju podataka* (engl. *fast data path*), koji omogućava postizanje minimalnog kašnjenja kroz DSL-primopredajnik, ali je izložen povećanom broju bitskih grešaka u prijemu što zahtijeva primjenu tehnika za korekciju grešaka u prijemu. ADSL također koristi i tzv. *putanju podataka s učešljavanjem bita* (engl. *interleaved data path*), koji osigurava veći integritet prenošenim podacima, ali ga obilježava povećano kašnjenje prenosa.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Digital Broadcasting and Broadband Technologies (Master Studies)
Erasmus+ Project No. 561688-EPP-1-2015-1-XK-EPPKA2-CBHE-JP

This project has been founded with support from the European Commission
This publication[communication] reflects the views only of the author, and
the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of
the information contained therein.

DBBT

Digital Broadcasting & Broadband Technologies