

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA
Zavod za elektroničke sustave i obradbu informacija

Seminarski rad iz kolegija Sustavi za praćenje i vođenje procesa
Ak. god. 2005/06.

Digitalna pretplatnička linija vrlo velike brzine (VDSL)

Zagreb, svibanj 2006

Tomislav Kamenarić
Mat. broj: 0036388547

1. Uvod

Tehnologije *digitalne pretplatničke linije* (engl. *digital subscriber line*, skr. DSL) su tehnologije pristupa jezgrenoj mreži pomoću fiksnih linija. DSL duguje svoj uspjeh najviše brzom pristupu Internetu kao i razvoju širokopolasnih komunikacija. *Digitalna pretplatnička linija velike prijenosne brzine* (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 doživio najveći rast na tržištu, dok *digitalna pretplatnička linija vrlo velike prijenosne brzine* (skr. od engl. *Very high data rate DSL*, VDSL) nudi najveće prijenosne brzine od svih DSL-a. Već je neko vrijeme sasvim jasno da telekom operatori diljem svijeta donose odluke (ili će ih donijeti uskoro) o uključivanju postojećih paričnih lokalnih petlji u svoje širokopolasne pristupne mreže sljedeće generacije. S obzirom da krajnji korisnici postaju sve zahtjevniji glede prijenosnih brzina, ADSL bi mogao, unatoč novijim inačicama ADSL2 i ADSL2+, iskazati slabe performanse u složenoj okolini u kojoj je potreban istovremeni prijenos govorne telefonije, interaktivnog videa i brzih podatkovnih usluga na veće udaljenosti između krajnjih korisnika i lokalne centrale. U takvim mrežnim scenarijima, gdje operatori radije odabiru kao rješenje kombinaciju optičkih niti i upredenih parica, VDSL postaje dobar izbor.

2. Karakteristike VDSL-a

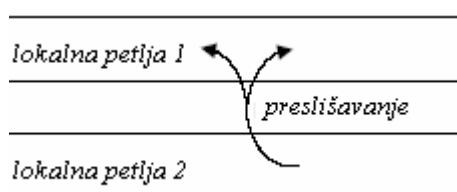
VDSL podržava simetričan i asimetričan prijenos što znači da radi sa različitim prijenosnim brzinama u dolaznom i odlaznom smjeru prijenosa signala. Cijena koju VDSL plaća zbog povećanja brzine u odnosu na ADSL je smanjeni domet prijenosa. Dolazne brzine podržane VDSL-om višekratnici su brzine od 155,52 Mbit/s :51,84 Mbit/s, 25,92 Mbit/s i 12,96 Mbit/s. Odlazne brzine podržane VDSL-om moguće je podijeliti u tri skupine: 1,6 – 2,3 Mbit/s, 19,2 Mbit/s i brzine koje su jednake dolaznoj. U tablici 1 dane su brzine prijenosa signala za različite inačice VDSL-a.

Inačica VDSL-a	Domet (m)	Dolazna brzina (Mbit/s)	Odlazna brzina (Mbit/s)
asimetrična	900	26	3
asimetrična	300	52	6
simetrična	900	13	13
simetrična	300	26	26

Tablica 1: Prijenosne brzine podržane VDSL-om

Signale u smjeru od lokalne centrale prema udaljenim korisničkim lokacijama moguće je prenositi na veće udaljenosti nego što je to slučaj u prijenosu u suprotnom smjeru zato što je štetan utjecaj preslušavanja jače izražen na strani lokalne centrale nego na lokaciji krajnjeg korisnika. Tu pojavu uzrokuje činjenica da se, promatrajući odlazni smjer prijenosa, sve više upredenih parica nalazi u zajedničkom kabeu kako se približavamo lokalnoj centrali, pri čemu svaka parica u kabeu generira preslušavanje na ostalim sustavima u zajedničkom kabeu. Obratno, promatrajući dolazni smjer prijenosa, lokalne petlje se granaju iz jednog zajedničkog kabla, što znači da kabeli koji su bliži krajnjim korisnicima sadrže manje parica, te su samim time preslušavanja u njima manja.

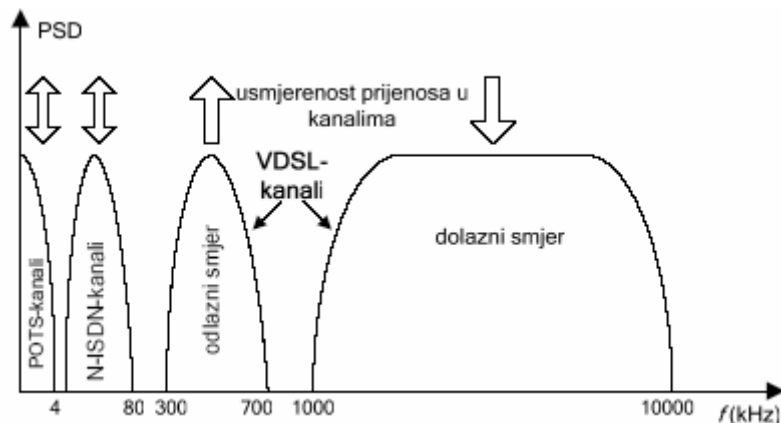
Kako bi se izbjegle pogreške u prijenosu nastale zbog preslušavanja razdvajaju se odlazni od dolaznog kanala, te se oni još odvajaju od *tradicionalne fiksne analogne telefonske usluge* (engl. *Plain Old Telephone Service*, skr. POTS) i *uskopojasne digitalne mreže integriranih usluga* (engl. *Narrowband Integrated Services Digital Network*, skr. N-ISDN). Preslušavanje (slika1) je pojava koja je javlja kod digitalnih pretplatničkih linija i ona uzrokuje da se primljeni signali krivo interpretiraju prilikom detekcije simbola u prijemu, uslijed čega se povećava *vjerojatnost pogreške bita* (engl. *bit error ratio*, skr. BER).



Slika 1: Preslušavanje

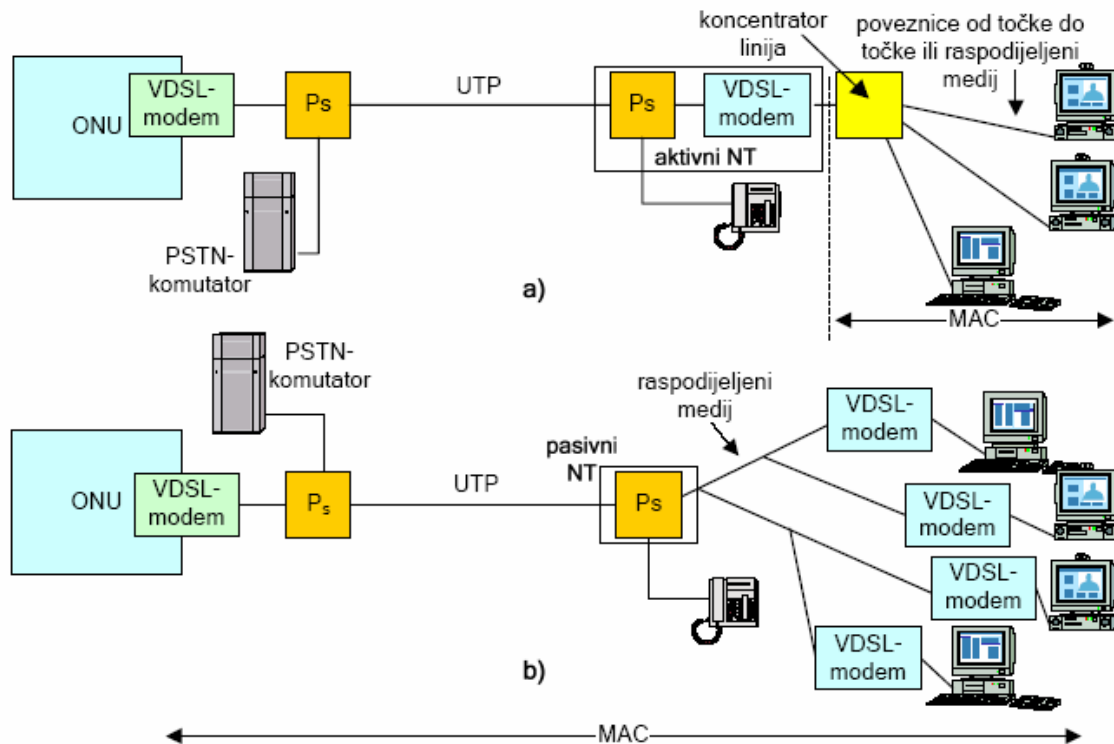
Početne inačice VDSL-a koristile su za razdvajanje kanala tehniku koje se naziva *multipleksiranje po frekvencijski raspodijeljenim kanalima* (engl. *Frequency division*

multiplexing, skr. FDM) dok novije inačice koriste tehniku poništavanje odjeka (engl. *echo cancellation*, skr. EC). Relativno velika frekvencijska razlika između najnižeg podatkovnog kanala i POTS-kanala omogućava korištenje vrlo jednostavnih i jeftinih POTS-razdjelnika. Gornja granična frekvencija u pojasu kojeg koristi VDSL iznosi najviše 30 MHz u sustavima čiji je domet prijenosa kraći od 300 m, odnosno najviše 10 MHz u sustavima čiji domet seže do 1 km.



Slika2: Dodjela frekvencijskih kanala u inačici VDSL-a koja odlazni od dolaznog kanala razdvaja FDM-om (POTS- i N-ISDN-kanali uvijek su od VDSL-kanala razdvojeni na načelu FDM-a)

Lokalna petlja na kojoj je implementiran VDSL može imati dvije konfiguracije *mrežnog zaključenja* (engl. *network termination*, skr. NT): aktivnu (slika 3a) i pasivnu (slika 3b). U aktivnoj konfiguraciji VDSL-modem i POTS-razdjelnik sastavni su dio NT-a, dok je u pasivnoj konfiguraciji samo razdjelnik ugrađen u NT. Razmotrimo prvo multipleksiranje u dolaznom smjeru. Pri pasivnoj konfiguraciji NT-a optička mrežna jedinica (engl. *optical network units*, skr. ONUs) razaslije podatke svakom korisničkom VDSL-modemu s kojim je povezan. Pri aktivnoj konfiguraciji NT-a svako je korisničko područje opremljeno tzv. koncentradorom linija. ONU šalje slijed podataka prema koncentradoru koristeći komutiranje ćelija ili *multipleksiranje po vremenski raspodijeljenim kanalima* (engl. *time division multiplexing*, skr. TDM). Koristeći jedan od tih mehanizama, koncentrador podatke primljene od ONU-a distribuira krajnjim korisničkim uređajima (npr. osobna računala, televizori i dr.).



Slika 3: Mrežna zaključnja u tehnologiji VDSL: a) aktivno mrežno zaključenje, b) pasivno mrežno zaključenje; P_s – pasivni POTS-razdjelnik

Ako VDSL-modem na korisničkom području sadrži u sebi aktivno mrežno zaključenje, tada je za multipleksiranje ćelija ili kanala koje dva ili više krajnja uređaja šalju u jedan zajednički slijed podataka odgovorna mreža krajnjeg korisnika. VDSL-modem samo transparentno prenosi podatkovne sljedove u oba smjera. Aktivnu ulogu, dakle, preuzima koncentrador linija, koji može biti izveden kao zaseban uređaj ili kao integralni dio VDSL-modema, te može djelovati kao multipleksor ili kao komutator. Jedna od mogućih konfiguracija korisničke mreže s aktivnim NT-om podrazumijeva korištenje koncentratora linija koji je zvjezdastom mrežom povezan s krajnjim korisničkim uređajima (slika 3a). Pored povezivanja krajnjih uređaja s koncentradorom linija poveznicama od točke do točke moguće je koristiti i konfiguraciju raspodijeljenog medija pri čemu su svi krajni uređaji povezani s koncentradorom linija pomoću sabirničke mreže. Ako je NT pasivan (slika 3b), tada je svakom krajnjem korisničkom uređaju pridijeljen zaseban VDSL-modem. Takav mrežni scenarij, u kojem odlazni kanali krajnjih uređaja moraju zajednički dijeliti jednu upređenu paricu koja VDSL-modem u ONU povezuje s NT-om, iziskuje uvođenje mehanizma za *upravljanje višestrukim pristupom mediju* (engl. *multiple access control*, skr. MAC) u mrežu pretplatničkog područja. Iako je moguće koristiti sustav s detekcijom sudara *protokolnih podatkovnih jedinica* (engl.

Protocol Data Unit, skr. PDU), zahtjev korisnika za zajamčenom prijenosnom brzinom nameće korištenje druga dva rješenja:

- *protokol dodjele dozvola za slanje ćelija* (engl. *cell-grant protocol*) – okviri koji se šalju u dolaznom smjeru, a generirani su u ONU ili prije njega u mreži, sadrže nekoliko bita koji određenom krajnjem uređaju daju *dozvolu* (engl. *grant*) za pristup mreži. Temeljem dobivene dozvole krajnji uređaj može u vremenskom intervalu koji slijedi neposredno iza prijema okvira poslati jednu ćeliju u odlaznom smjeru;
- *višestruki pristup mediju pomoću frekvencijskog multipleksiranja* (engl. *Frequency division multiple access*, skr. FDMA) – ta tehnika dijeli odlazni kanal u potkanale i pridjeljuje po jedan potkanal svakom krajnjem korisničkom uređaju. Korištenjem FDM-a izbjegnut je višestruki pristup mediju po slučajno dodijeljenim resursima – FDM omogućava višestruki pristup mediju po fiksno dodijeljenim resursima, što je njegova glavna prednost. Nadalje, FDM ne zauzima kanal za potrebe slanja zalihosnih bita svojstvenih protokolu dodjele dozvola za slanje ćelija. Osnovni nedostatak ove tehnike je ograničavanje prijenosne brzine svih krajnjih uređaja – svim je krajnjim uređajima dodijeljen jednak kapacitet poveznice neovisno o njihovim trenutnim komunikacijskim potrebama.

Linijsko kodiranje i modulacijske tehnike prilikom definiranja VDSL-standarda razmatrana su četiri linijska koda i modulacijska postupka:

- **CAP** – u pasivnim konfiguracijama NT-a CAP bi koristio *kvadraturnu digitalnu amplitudnu modulaciju* (engl. *Quadrature Phase Shift Keying*, skr. QPSK) i *višestruki pristup mediju pomoću vremenskog multipleksiranja* (engl. *time division multiplexing access*, skr. TDMA) za slanje podataka u odlaznom smjeru, iako CAP ne isključuje uporabu FDMA;
- **DMT** – u pasivnim konfiguracijama NT-a DMT bi koristio FDMA za slanje podataka u odlaznom smjeru, iako DMT ne isključuje uporabu TDMA;
- **DWMT** (skr. od engl. *Discrete Wavelet Multitone*) – modulacijski postupak DWMT također koristi FDMA za multipleksiranje podataka u odlaznom smjeru, ali omogućava i uporabu TDMA;

- **SLC** (skr. od engl. *Simple Line Code*) – u pasivnim konfiguracijama NT-a linijski kod SLC bi najvjerojatnije koristio TDMA za slanje podataka u odlaznom smjeru, iako je i uporaba FDMA moguća.

3. Standardizacija VDSL-a i usluge podržane VDSL-om

Šest vodećih svjetskih telekomunikacijskih standardizacijskih organizacija i foruma provodi višegodišnji proces standardizacije VDSL-a: ITU-T SG15 (VDSL-standard su nazvali G.vdsl), ANSI T1E1.4, ETSI TM6, DSL Forum, ATM Forum i DAVIC. Činjenica je da su svi zajedno objavili uglavnom privremene ili djelomične dokumente, kao što je preporuka ITU-T G.993.1, objavljena 2001., kojom su definirani samo podsloj *konvergenije prijenosu* (engl. *transmission convergence*, skr. TC) i plan korištenja frekvencijskih pojaseva u VDSL-u. Na tržištu također djeluje i VDSL-alijansa (www.vdslalliance.com), koja okuplja mnogobrojne proizvođače telekomunikacijske opreme i promovira tehnologiju VDSL.

Zahvaljujući velikim prijenosnim brzinama VDSL podržava najveći raspon usluga od svih DSL-tehnologija: video na zahtjev, telemedicinu, *televiziju visoke definicije* (engl. *High Definition Television*, skr. HDTV), intranetske komunikacije i rad na daljinu, razošiljanje digitalne televizije, interaktivni video, *elektroničko poslovanje* (engl. *electronic commerce*), videoigre, *učenje na daljinu* (engl. *distance learning*), videokonferencije, *elektroničko izdavaštvo* (engl. *electronic publishing*) i dr. Budući da VDSL podržava i asimetrični i simetrični prijenos, moguće ga je primijeniti u području novih usluga koje nije moguće pokriti ADSL-om, kao što je npr. povezivanje velikih korporacijskih intraneta s Internetom pomoću VDSL-a, a naročito u situacijama kad korporacijske mreže generiraju velike količine prometa prema Internetu.

VDSL mora prenositi komprimirani video u stvarnom vremenu. Radi se o usluzi koja nije prilagođena retransmisijama korištenim u podatkovnim komunikacijama. Kako bi se postigla vjerojatnost pogreške usporediva s onom u prijenosu nekomprimiranog videa, VDSL mora koristiti *ispravljanje pogrešaka u prijemu* (engl. *forward error correction*, skr. FEC) s

prepletanjem bita kako bi ispravio većinu pogrešaka nastalih uslijed djelovanja impulsnog šuma.

4. Prednosti, nedostaci i problemi VDSL-a

Prednosti tehnologije VDSL su sasvim jasne: pruža najveće prijenosne brzine od svih DSLtehnologija, u mrežnoj arhitekturi od točke do točke komunikaciji pruža zajamčenu sigurnost, i podržava mogućnost istovremenog prijenosa POTS-a i VDSL-podataka istom upredenom paricom. Međutim, VDSL je ipak u fazi definiranja – neki preliminarni proizvodi postoje, ali ne postoje potpune spoznaje o analognim pretplatničkim linijama, njihovom zračenju električne energije u okolinu i njihovoj otpornost na interferenciju iz okoline, o protokolima multipleksiranja u odlaznom smjeru i informacijskim potrebama pojedinih usluga, što je sve zajedno neophodno poznavati kako bi se definirao konačni VDSL-standard.

Jedna velika nepoznanica je maksimalni domet kojeg VDSL može pouzdano podržati pri nekoj zadanoj prijenosnoj brzini. Razlog tome leži u činjenici da su stvarna obilježja upredenih parica u frekvencijskom području koje koristi VDSL djelomično poznata. Postojanje kratkih premoštenih odvojaka ili nezaključenih produljenja linija u kućnim instalacijama, koja nemaju utjecaja na POTS, N-ISDN ili ADSL, mogu imati vrlo štetan utjecaj na VDSL u određenim mrežnim konfiguracijama. Nadalje, svaka nadzemna parica koja prenosi VDSL-sigale predstavlja antenu koja zrači u frekvencijski pojas korišten u amaterskom radiju i iz njega prima elektromagnetsko zračenje. Balansiranje između nižih razina signala, kako bi se smanjila emisija koja interferira s amaterskim radijskim prijenosom, i viših razina signala, potrebnih za savladavanje interferencije uzrokovane amaterskim radijskim prijenosom, mogao bi biti važan čimbenik pri određivanju dometa VDSL-a.

Dodatna dimenzija VDSL-a koja je još dosta nejasna je njegov mehanizam prijenosa usluga viših slojeva. Jedan način je da prilikom transfera videa i podatkovnih komunikacija VDSL prenosi informacije pomoću *ATM-ćelija* (engl. *ATM cells*), iako optimalne dolazne i odlazne

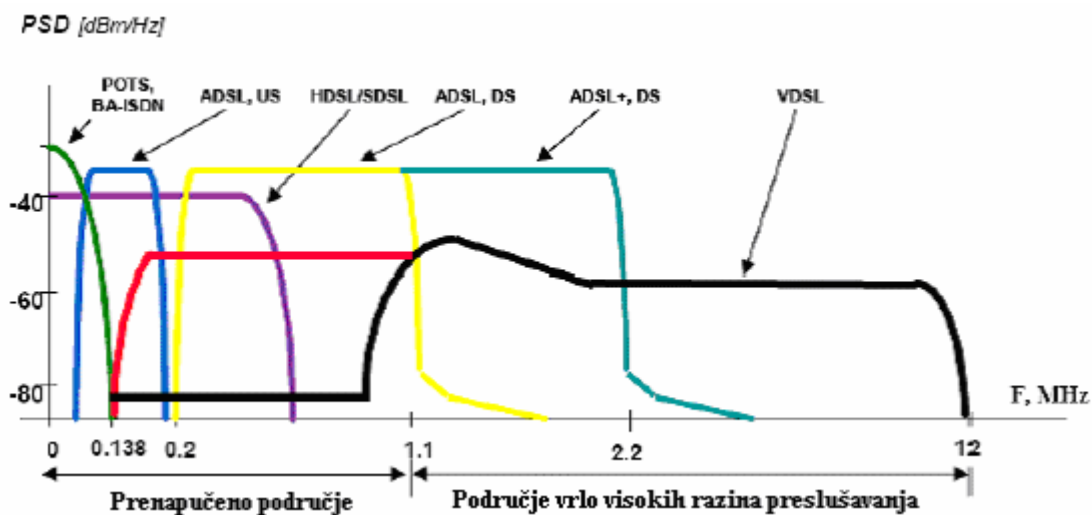
brzine nisu utvrđene. Ono što je još teže procijeniti je postojanje potrebe za prijenosom informacija VDSL-om u formatu različitom od ATM-ćelija (npr. tradicionalni E1/T1-okviri) i potrebe za simetričnim kanalima pri širokopojasnim brzinama (iznad 2 Mbit/s). VDSL nije niti će biti potpuno neovisan o protokolima viših slojeva, posebno u odlaznom smjeru u kojem multipleksiranje podataka krajnjih korisnika zahtijeva da je protokol na sloju podatkovne poveznice definiran. Još jedan težak problem vezan uz VDSL je distribucija podataka na korisničkom području te sučelje između PSTN-a i krajnjeg korisničkog uređaja. Promatrano s aspekta troškova, favorizirano je pasivno mrežno sučelje, tj. konfiguracija s pasivnim NT-om. Nasuprot tome, s aspekta upravljanja sustavom, pouzdanosti, ograničenja koja proizlaze iz regulative i migracijskih aspekata u prednosti je aktivno mrežno sučelje, tj. konfiguracija s aktivnim NT-om (aktivni NT koriste i ADSL i N-ISDN). Nadalje, VDSL s pasivnim NT-ima može u iznimnim situacijama biti skuplji od VDSL-a s aktivnim NT-ima, ali otklanjanje aktivnih elektroničkih komponenti iz korisničke mreže (misli se primarno na koncentrador linija) čini ga u pravilu isplativijim rješenjem, za kojim vlada veći interes unatoč svim prednostima koje sa sobom nosi aktivni NT.

5. Usporedba DSL-tehnologija

Tablica 2 prikazuje usporedbu najpoznatijih DSL-tehnologija [2]. Slika 4 prikazuje usporedbu spektralnih gustoća snage različitih DSL-tehnologija [3]. Sasvim je vidljivo iz slike da je VDSL iznimno zahtjevna tehnologija glede potrebne širine prijenosnog pojasa.

xDSL	Standard	Maksimalna dolazna brzina	Maksimalna odlazna brzina	Maksimalni dolet	Regeneracija signala	Podrška POTS-u
ISDN	Da	128 kbit/s	128 kbit/s	5486 m	Ne	Da
IDSL	Da	144 kbit/s	144 kbit/s	5486 m	Ne	Ne
HDSL	Ne	2,320 Mbit/s	2,320 Mbit/s	3658 m	Da	Ne
HDSL2	Da	1,544 Mbit/s	1,544 Mbit/s	3658 m	Da	Ne
SDSL	Ne	2,320 Mbit/s	2,320 Mbit/s	5486 m	Ne	Ne
SHDSL	Da	2,320 Mbit/s	2,320 Mbit/s	5486 m	Da	Ne
ADSL	Da	8 Mbit/s	640 kbit/s	5486 m	Da	Da
G.lite	Da	1,5 Mbit/s	512 kbit/s	5486 m	Da	Da
VDSL	Ne	56 Mbit/s	13 Mbit/s	1372 m	Planirano	Da

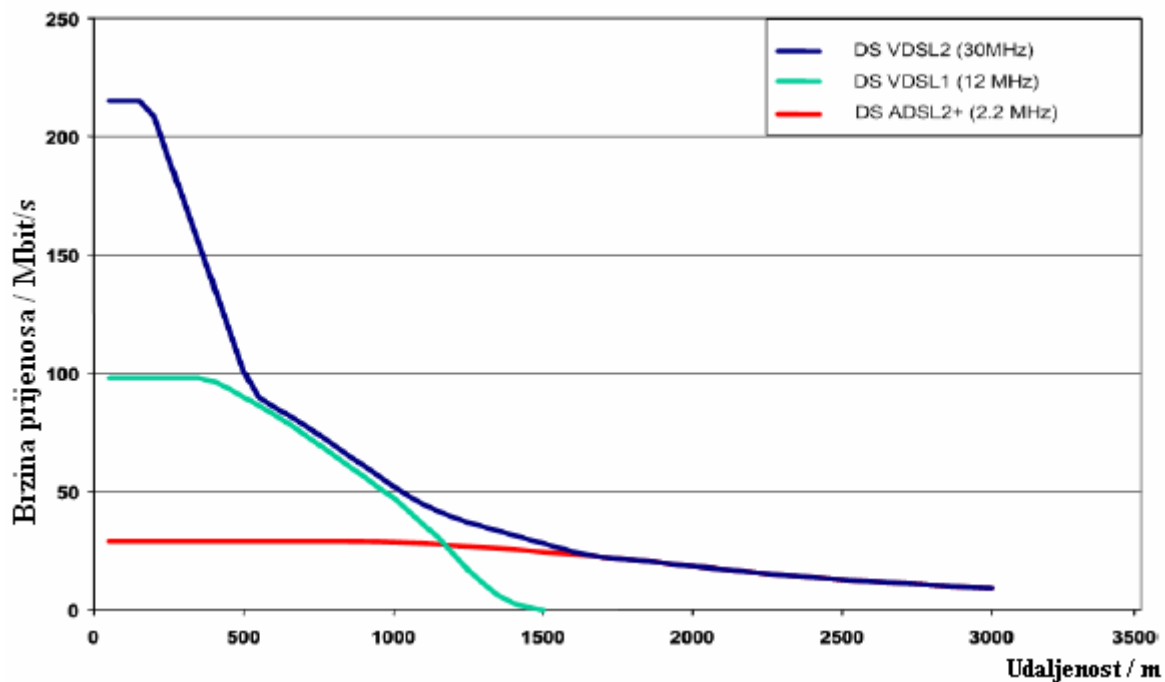
Tablica 2 Usporedba DSL-tehnologija



Slika 4 Usporedba spektralnih gustoća snage različitih DSL-tehnologija– područje do 1,1 MHz je područje "prenapučenno" raznim DSL-tehnologijama, područje od 1,1 do 12 MHz je područje vrlo visokih razina preslušavanja

6. VDSL2

Svi prije navedeni problemi sprečavali su širenje VDSL-a. Bilo je potrebno uvesti novu generaciju odnosno donjeti standard koji bi u potpunosti definirao VDSL i omogućio njegovo postupno zamjenjivanje ADSL-a. Dana 27. svibnja 2005. godine objavljena je preporuka ITU-T G.993.2 [4], kojom je definirana druga inačica tehnologije VDSL, nazvana skraćeno VDSL2. VDSL2 je simetrična prijenosna usluga koja podržava prijenosnu brzinu od 100 Mbit/s u oba smjera. Utemeljena je na *diskretnoj višetonskoj modulaciji* (engl. *Discrete Multitone*, skr. DMT). Proširenjem frekvencijskog pojasa VDSL2 sve do 30 MHz, novi primopredajnici podržavaju simetrične brzine od 100 Mbit/s jednom upredenom paricom do udaljenosti veće od 350 metara. Na slici 4 prikazani su odnosi u brzinama prijenosa kod VDSL-a, VDSL2 i ADSL2+ [5]. Kako bi se zadovoljile potrebe tržišta pristupnih tehnologija za lokalnim petljama srednje i velike duljine, srednja snaga predajnika je povećana na 20 dBm, a specificirano je i korištenje tehnike poništavanja odjeka kako bi se u dugačkim petljama omogućilo postizanje performansi sličnih onima kod ADSL-a. Kako bi se prijenosna brzina i raspoloživi kanali iskoristili na najučinkovitiji način, u VDSL2-standard su uključeni *fleksibilno uokvirivanje podataka* (engl. *flexible framing*), tj. kreiranje okvira promjenjive duljine, rekonfiguracija linije tehnikom kontinuirane prilagodbe prijenosne brzine u stvarnom vremenu (engl. *seamless real-time data rate adaptation*, skr. SRA) i tehnika skraćeno nazvana DRR (od engl. *Dynamic Rate Repartitioning*). VDSL2 je prije svega specificiran kako bi podržao prijenos višekanalnog HDTV-a, videa na zahtjev i videokonferencija, te *transfer govora protokolom IP* (engl. *Voice over Internet Protocol*, skr. VoIP).



Slika 5: Usporedba brzine prijenosa VDSL2, VDSL1, ADSL2+

Danas je VDSL2 najviše zastupljen u Japanu i Južnoj Koreji gdje je pretežno korištena tehnologija. VDSL2 je ili će uskoro biti zastupljen još u Australiji, Belgiji, Kanadi, Finskoj, Francuskoj, Njemačkoj, Hong Kongu, Nizozemskoj, Sloveniji, Španjolskoj, SAD-u i Švedskoj [6].

7. Zaključak

Donošenjem novog standarda koji je otklonio nedostatke prve inačice VDSL-a omogućeno je iskorištavanje njegovih dobrih strana. To je prvenstveno velika brzina prijenosa signala koja VDSL2 određuje kao tehnologiju budućnosti. VDSL2 nam nudi i visoku kvalitetu usluge (QoS) prijenosa govora i videa. Veću zastupljenost VDSL2-a za sad određuju troškovi prijelaza na novu tehnologiju.

Literatura

- [1] Bažant, A., 2005. *Uvod u xDSL i ADSL*. Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
- [2] Vermillion, W. 2003. *End-to-end DSL Architectures*. Cisco Press, Indianapolis
- [3] EFMA. June 2004. EFM Copper (EFMC) Tutorial. <http://efmalliance.org>
- [4] *New ITU Standard Delivers 10x ADSL Speeds*, <http://itu.int>
- [5] Wimoesterer, W. 2005. *Future Proof Telecommunications Networks with VDSL2*. <http://infineon.com>
- [6] *Very high bit rate Digital Subscriber Line*, <http://en.wikipedia.org>