

Digital Subscriber Line

Prosjekt i Datakommunikasjon og nettverkssikkerhet

Kyle Arumugam
kyle@sult.net

Lene Jenssveen
lene@sult.net

29. november 2006

Innhold

Innhold	1
1 Innledning	2
1.1 Om prosjektet	2
1.2 Om rapporten	2
2 Digital Subscriber Line	3
2.1 Kort om bredbånd	3
2.2 Hva er DSL?	4
2.3 Bruken av DSL	5
2.4 Digital Subscriber Access Multiplexer	5
2.5 Local loop	6
2.6 DSL modulering	6
2.6.1 DMT	7
2.6.2 CAP	8
2.6.3 PAM	8
2.6.4 Hva er xDSL?	8
2.7 Transportnett	9
2.8 Telefonsentral	11
2.9 Sikkerhet	11
3 Asymmetric Digital Subscriber Line	12
3.1 ADSL standarder	12
3.2 ANSI T1.413-1998	12
3.2.1 Hvordan fungerer ADSL?	14
3.2.2 Hastighet	14
3.3 Multiplexing	14

3.3.1	Hva er standard multipleksing for ADSL?	15
3.3.2	Modulasjon i ADSL	16
3.4	Samtidig opplasting og nedlasting med ADSL	16
3.5	ADSL lite	16
3.6	ADSL2	16
3.7	ADSL2+	17
3.7.1	ADSL2+ egenskaper	17
3.7.2	ADSL2+ begrensinger	17
3.8	ADSL2++	17
4	Symmetric High-bit rate DSL	18
4.1	Hva er HDSL?	18
4.2	Hva er SHDSL?	19
4.3	SHDSL modulering	19
5	Very-high Data-rate DSL	21
5.1	VDSL egenskaper	21
5.2	VDSL2	22
5.3	VDSL2 egenskaper	22
5.4	VDSL2 standardisering	22
5.5	VDSL2 kompatibilitet	23
6	Markedstrender	24
6.1	Europa	24
6.2	USA	24
6.3	Japan, Korea, Taiwan	24
6.4	Videre utvikling	25
7	Konklusjon	26
	Bibliografi	27
	Figurer	28
	Tabeller	29
A	Ordforklaringer	30

Kapittel 1

Innledning

Denne rapporten er skrevet i forbindelse med et prosjekt i faget Datakommunikasjon og nettverkssikkerhet ved Høyskolen i Gjøvik.

1.1 Om prosjektet

Prosjektet vårt omhandler DSL teknologier. Målet med prosjektet var å lære om DSL generelt, se nærmere på de forskjellige standardene som DSL dekker, og da særlig ADSL siden dette er den standarden som er mest utbredt.

Forkunnskaper og informasjon

Vi hadde lite kunnskap om DSL fra før. Informasjon om DSL har vi funnet ved å aktivt bruke søkemotorer på internett og gjennom biblioteket ved Høyskolen i Gjøvik. Det var litt vanskelig å avgrense prosjektet, fordi vi kunne gravd oss ned i mange forskjellige aspekter ved DSL.

1.2 Om rapporten

Rapporten er skrevet i \LaTeX og figurene som vi selv har laget er laget i Microsoft Visio 2003 og Adobe Illustrator CS.

Kapittel 2

Digital Subscriber Line

DSL (Digital Subscriber Line) er grovt fortalt en høyhastighets datakommunikasjonsteknologi bestående av et sett med standarder for å få bredbåndstilknytting over de allerede eksisterende telefonlinjene. DSL står for Digital Subscriber Line og Subscriber Line forstås med en abonnents telefonlinje og Digital forteller at signalet overføres digitalt.

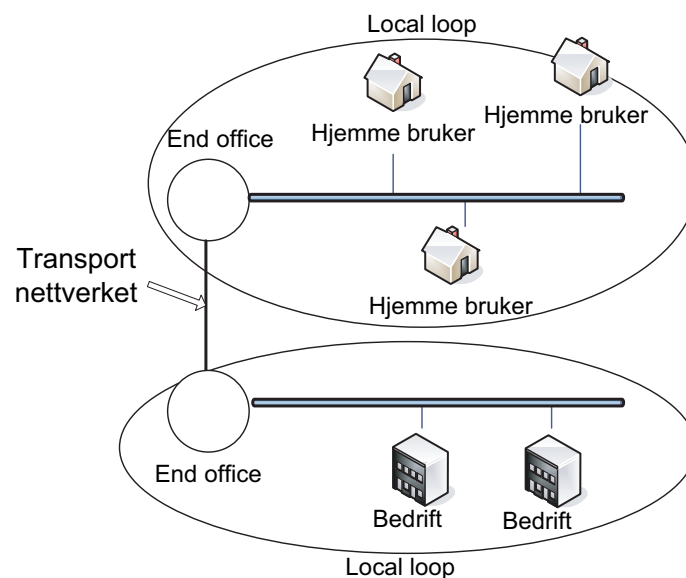
Per 30 juni 2006, var det registrert 46 millioner nye kunder på bare 12 måneder, hvor hele 8 land overstiger 25% av telefonlinjer med DSL. På listen med de 22 landene som har over 1 million DSL abonnenter, finner vi Sverige på 19 plass med 1 432 800 abonnenter, Finland på siste med 1 136 000, og Kina på første med hele 33 305 000 [[htte](#)].

2.1 Kort om bredbånd

En allmen oppfattelse av hva bredbånd er, er at det er en høyhastighets datalinje for rask overføring av informasjon. Men bredbånd er egentlig per definisjon bare en bestemt måte å overføre data over et medium på [[Lek03](#)]. Når man skal overføre digital informasjon (signaler), så kan man eksempelvis overføre via basebånd eller via bredbånd. Basebånd overfører ett og ett signal av gangen på signalets opprinnelige frekvens, mens bredbånd derimot overfører mange signaler samtidig på hver sin unike frekvens.

2.2 Hva er DSL?

DSL er en høyhastighets datakommunikasjons-teknologi, utviklet for å øke hastighet og kvalitet på “the last mile” (se figur 2.1). Det vil si linjen fra telefonsentralen og ut til den enkelte abonnent. Dessverre er det fortsatt sånn at jo lengre unna sentralen man bor, jo flere ulemper er det, og det spesielt med tanke på overføringshastigheter og kvalitet på overføringen som en naturlig følge av det. Loop lengden, avstanden mellom abonnenten og den lokale telefonsentralen, samt linje tykkelse og linje kvalitet, har mye å si for innvirkninger på tilgjengeligheten og pålitligheten til DSL.



Figur 2.1: Local loop

Det som gjør DSL til den suksessen det har blitt, er nok utvilsomt det at teknologien benytter seg av de kobberlinjene som allerede finnes og som har vært på plass siden telefonens opprinnelse i 1876. Det gjorde implementasjon forholdsvis enkel og billig fordi man slapp å benytte seg av for eksempel fiber, og man slapp unna med relativt små endringer på linjen. ADSL.Lite for eksempel kan implementeres uten endringer i det hele tatt.

Det var Bellcore (nå Telcordia) som i 1989 begynte å kikke for alvor på DSL, og i 1993 hadde Bell Atlantic (nå Verizon) og British Telecommunications allerede klare DSL trials.

I utgangspunktet var det de lokale teleleverandørene som ville utvikle DSL for å

optimalisere “the last mile”, og få mer ut av de eksisterende kobberlinjene. Men det var ønsket om å bryte igjennom “the local loop“ og få kontrollen over “the last mile” ut til abonnentene som gjorde at enkelte konkurrenter tok i bruk xDSL.

Drivkraften bak utviklingen av DSL teknologien lå i konkurransen om å levere høyhastighets internett til folket. På 90 tallet satte frykten for at kabelselskapene skulle overta markedet ved å tilby stemme, video og data tjenester over sitt coax kabel overføringssystem, fart på DSL utviklingen. Kabelnettet var en av teknologiene som kunne møte utfordringen i høyhastighetsoverføring. Uheldigvis så skjedde det noe 1992, som gjorde at flere kabelselskaper gikk konkurs. Dette førte til at ønsket om hurtig utvikling av DSL dabbet av, og forsvant.

I 1996 kom det store vendepunktet, nemlig “The Telecommunications Act of 1996”. Reformen ville redusere omfanget av reguleringer, samt fremme konkurranse. Det var for å sikre lavere priser og høyere kvalitet på tjenester, samt stimulere til rask utvikling av ny teknologi.

Dette i tillegg til økt konkurranse førte til at xDSL mellom 1996-2000 ble veldig populært. De lokale leverandørene fant ut at de ikke bare kunne sitte tilbaketrukket og se på at konkurrenter brukte deres ide mot seg. Denne konkurransen innstillingen kom selvfølgelig DSL teknologi utviklingen til gode. Så hovedgrunnen for å benytte xDSL er for å optimalisere en leverandørs bruk av sin egen “local loop” eventuelt en konkurrents bruk.

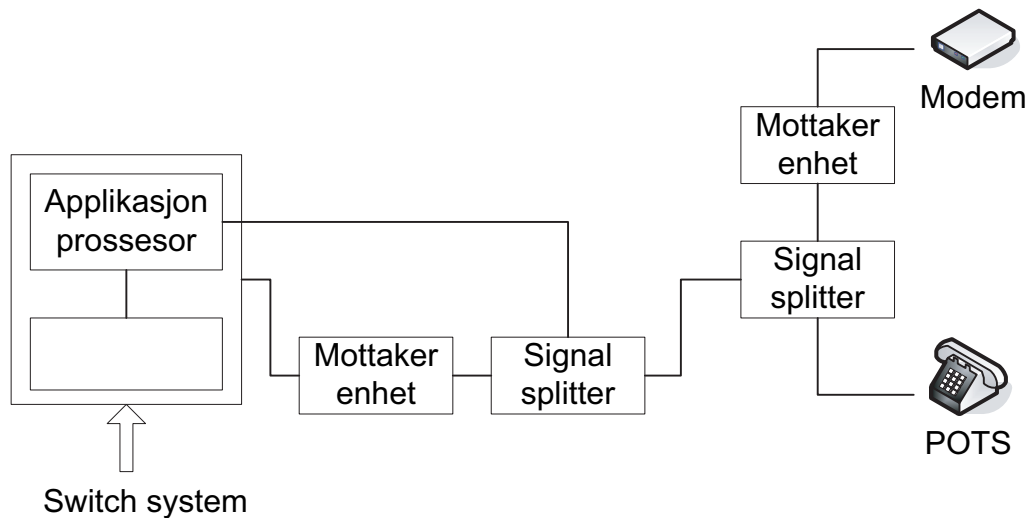
2.3 Bruken av DSL

DSL er for ordens skyld, en standard på det fysiske laget. For å kunne benytte DSL så er det flere komponenter inne i bildet. Man må ha signal splittere, modem hos kunden som er spesielle for hver type av DSL, mottaker enhet hos leverandøren og mottakerenhet hos kunden.

Vi skal ikke gå nærmere inn på alle disse komponentene som er vist i figur 2.2.

2.4 Digital Subscriber Access Multiplexer

Digital Subscriber Access Multiplexer (DSLAM) finnes hos telefonsentralene. DSLAM er en enhet for å samle alle innkomne signaler fra brukerne og sende de ut igjen som et enkelt signal. Signalet ut fra DSLAM kan sendes videre til ett ATM-signal som blir videresent til brukerens ISP. Hver enkelt ISP må leie plass på DSLAM'en. DSLAM brukes særlig i ADSL nettverk.



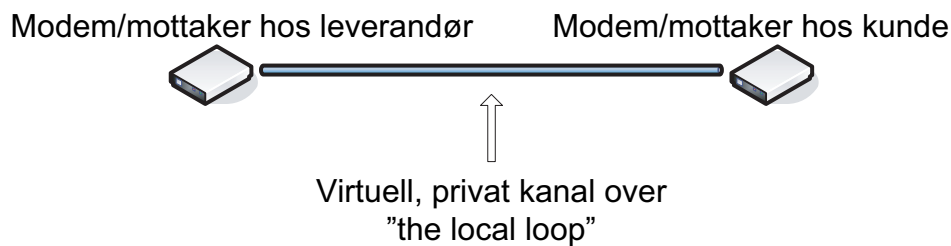
Figur 2.2: DSL komponenter

2.5 Local loop

I utgangspunktet så er “the local loop” kun designet for overføring av menneskestemmen, altså i frekvensområdet fra 300-3400 Hz. Et modem overfører innenfor dette frekvens området med en hastighet på opptil 157 600 bps uten at det resulterer i verken støy eller overflødige data. Tilgjengelig frekvensområde for telefon tjenester er opptil 1.1 MHz. Det sier seg selv at med det området telefontjenestene benytter, så er det mye igjen til overføring av data. DSL er en teknologi som støtter nettopp høyhastighetsoverføring av data samtidig med telefonsamtale, ved å benytte seg av det frekvensområdet som ikke brukes av telefonen. Digital data sendes som pakker som er sammensatt av digitale bitstrømmer i spekteret over de 3.4 KHz telefonen bruker. DSL er utvidbart, skalerbart og kompatibelt med teknologier som ISDN, IP, Frame Relay, ATM, SONET/SDH, Ethernet, Fast Ethernet og Gigabit Ethernet. Med DSL så blir det opprettet en virtuell privat kanal (se figur 2.3) imellom bruker og leverandør når kunden er tilkoblet.

2.6 DSL modulering

For å optimalisere den mengden informasjon som vanlige telefonlinjer kan overføre, så brukes det flere modulasjonsmetoder. Hvilke teknologi som blir benyttet for overføring kommer ann på hvilken DSL standard man benytter. Men en utbredt



Figur 2.3: Virtuell kanal mellom kunde og leverandør

teknologi er Discrete Multitone Technology (DMT) som er en metode for å separere DSL signaler. Idag brukes DMT av de fleste, som blant annet i ADSL- og VDSL-modem.

2.6.1 DMT

DMT omfatter et stort antall bærebølger, som hver har sin Quadrature Amplitude Modulation (QAM) modulasjon eller Carrierless Amplitude/Phase (CAP) modulasjon. DMT støtter høy gjennomstrømming, fordi den klarer å tilpasse seg endringer i linjeavstand, samt å optimalisere utnyttelsen av båndbredden. DMT teknologien har den egenskapen at den deler det tilgjengelige frekvens spekteret i mellom 0 KHz og 1.1 MHz, opp i 256 subkanaler(tones) på 4 KHz hver for informasjonstransport. Systemet søker etter den beste kanalen ved å hele tiden sende signaler mellom ulike kanaler.

Hver 4 KHz subkanal i radiofrekvens bandet holder 15 bits med data. De lavere frekvensene fra 300 Hz til 3.4 KHz støtter som tidligere nevnt telefontjenester. Mellomfrekvenser brukes til opplastnings og nedlastnings full-duplex overføringer, og høyere frekvenser, langt over de som brukes til stemmeoverføring, brukes til nedlastninger som krever mye båndbredde. DMT overføringer er tilpasningsdyktige ovenfor endringer i båndbredden og linjeavstanden. De er også svært motstandsdyktig ovenfor krysstale, som oppstår når signaler fra en overføring smitter over på en annen, støy fra elektriske apparater og Radio Frequency Interference fra radio signaler.

DMT deler det tilgjengelige frekvensspekteret på kobberlinjen mellom stemme og data overføring ved bruk av Discrete Fast-Fourier Transform og Coded-Orthogonal Frequency-Division Multiplexing (C-OFDM). DMT er tilpasset for overføring av data og derfor passer teknologien godt for internettbruk.

2.6.2 CAP

CAP er den metoden som er den originale metoden for å modulere et DSL signal. CAP deler signalene i telefonlinjen opp i tre forskjellige bånd, et for stemme (0 - 4 kHz), et for opplasting (25 - 160 kHz), og et for nedlastning (240 kHz - 1,5 MHz).

Fordeler med CAP

Fordelen med CAP er at det minimerer forstyrrelser mellom linjene. Både DMT og CAP er QAM teknikker. QAM er et avansert moduleringskjema for å lage 4 bits av en baud (modulasjonshastighet). CAP er tilpasset for Video on Demand for å møte konkurransen fra kabel-TV.

Ulemper med CAP

CAP gir ikke noen mulighet til å endre på hastigheten avhengig av støy og kvaliteten på linjen. Feilkorreksjon tilbys kun for nedlastingen og dermed ingen korrigering for opplasting. En annen stor ulempe med CAP er at det krever mer effekt enn DMT og det er heller ikke mulighe for å bestilte ønsket hastighet. CAP er i tillegg en proprietær teknologi [Fut04].

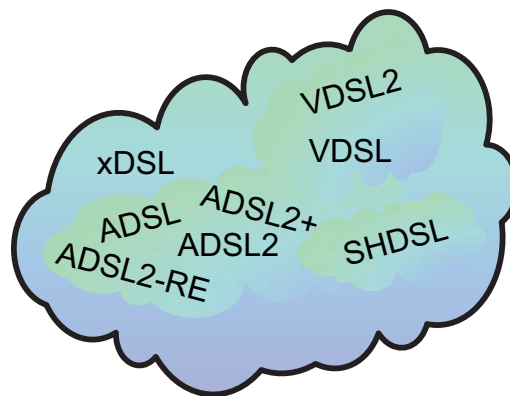
2.6.3 PAM

PAM står for Pulse Amplitude Modulation og er en moduleringssteknikk hvor informasjon blir enkodet i amplituder av signalpulser. Den koder inn binær informasjon på en eller flere bæreølger. Demodulering skjer ved å detektere nivået på hver symbol periode. PAM er sjelden brukt idag, da andre teknikker har tatt over [htt].

TC-PAM (Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation) er robust og bedre enn 2B1Q.

2.6.4 Hva er xDSL?

xDSL er en samle betegnelse for alle de standarder som faller inn under DSL familien. Per dags dato er det verdt å merke seg ADSL, ADSL2, ADSL2+, ADSL2-RE, SHDSL, VDSL og VDSL2. Vi vil om litt gå nærmere inn på noen av disse



Figur 2.4: Aktuelle DSL varianter

standardene. Det finnes flere, men de vil eller har allerede blitt erstattet av en eller flere av de ovenforstående.

Felles for alle standardene er at de er laget for å møte markedsbehov, samt at alle streber etter å bli “de facto” industristandard. Hovedforskjellen mellom standardene er overførings distanse, -hastighet, og -mengde. Oversikt over de forskjellige standardene er vist i figur 2.5

Den mest utbredte teknologien blant folk flest er ADSL(Asymmetric DSL). ADSL gir større nedlastningshastighet enn opplastningshastighet, og egner seg godt til vanlig Internett bruk. ADSL vil bli dekket nedenfor.

2.7 Transportnett

Transportnett er nettleverandørens infrastruktur for å overføre datatrafikk over lange avstander. Dette nettet er bygd ut slik at man kan etablere forbindelser mellom de ulike aksessnettene. Transportnettet har større kapasitet enn aksessnettene og er en felles ressurs som aksessnettene deler på. Tilkoblingspunkter i transportnettet kalles for aksessnoder. Aksessnodene i byer og tettbebygde strøk, vil ligge relativt tett, mens det i utkant strøk vil man som regel finne færre noder og dermed også dårligere dekning og dårligere båndbredde.

Family	ITU	Name	Ratified	Maximum Speed capabilities
ADSL	G.992.1	G.dmt	1999	7 Mbps down, 800 kbps up
ADSL2	G.992.3	G.dmt.bis	2002	8 Mb/s down, 1 Mbps up
ADSL2plus	G.992.5	ADSL2plus	2003	24 Mbps down, 1 Mbps up
ADSL2-RE	G.992.3	Reach Extended	2003	8 Mbps down 1 Mbps up
SHDSL	G.991.2	G.SHDSL	2001	5.6 Mbps up/down
VDSL	G.993.1	Very-high-data-rate DSL	2004	55 Mbps down, 15 Mbps up
VDSL2	G.993.2	Very-high-data-rate DSL 2	2005	100 Mbps up/down

Figur 2.5: Spesifikasjon av DSL standardene

[http]

2.8 Telefonsentral

Hos telefonsentralen kan DSL-modemet være koblet opp mot en IP-ruter, en FR-svitsj eller en ATM-svitsj eller mot en fastlinjetilknytning videre mot et annet punkt. Hos brukeren kan DSL-modemet sin ethernet grensesnitt kobles opp mot en hub/svitsj/ruter eller direkte mot en datamaskin.

2.9 Sikkerhet

Det er viktig å merke seg at internett er et åpent nettverk og at trafikken kan avlyttes og eventuelt manipuleres. Man må vite hvilke type informasjon som blir sendt. Dersom man må overføre sensitive data, bør man feks. kryptere informasjonen. Kryptering vil hjelpe oss når det gjelder konfidensialitet(sikre at uvedkommende ikke leser innholdet), dataintegritet(at innholdet ikke er endret) og autentisering (kommunisere med rette vedkommende).

Kapittel 3

Asymmetric Digital Subscriber Line

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) ble utviklet i 1994 [Lit02]. ADSL er standardisert av American National Standards Institute (ANSI), European Telecommunications Standards Institute (ETSI) og International Telecommunications Union - Telecommunications Standards Sector (ITU-T).

A'en i ADSL står for asymmetrisk og dette forklares med at ADSL har ulik opp- og nedlastingshastighet. Under dette kapittelet vil vi ta for oss ADSL, ADSL lite, ADSL2, ADSL2+ og ADSL2++.

3.1 ADSL standarder

Tabell 3.1 på neste side viser oversikten over de eksisterende standardene for ADSL.

3.2 ANSI T1.413-1998

ANSI T1.413-1998 beskriver minimum krav for å kunne få akseptabel ytelse av ADSL teknologien ved hjelp av DMT linjekoding.

ADSL standarder	
ADSL	ANSI T1.413-1998 Issue 2
G.DMT	ITU G.992.1
G.Lite	ITU G.992.2
ADSL2	ITU G.992.3/4 ITU G.992.3/4 Annex J ITU G.992.3/4 Annex L
ADSL2+	ITU G.992.5 ITU G.992.5 Annex L ITU G.992.5 Annex M

Tabell 3.1: ADSL standarder [[htta](#)]

Teoretisk og faktisk nedlastingshastighet

Det kan maksimalt bli brukt 255 subkanaler til nedlasting. Av de 256 subkanalene kan ikke subkanal 256 (Nyquist frekvens) og subkanal 64 (nedlastings pilot frekvens) brukes til å overføre bruker data. Dette gir 254 subkanaler for nedlasting. Dersom man hadde brukt alle 256 subkanalene ville vi ha fått 15.36 Mbp/s nedlastingshastighet [[Sta04](#)].

DMT data frame raten er på 4000 frames pr sekund. Hver av de 254 subkanalene har støtte for en overføringskapasiteten på på 0 - 15 bits pr Hz.

Dette gir: $(4000 \text{ baud/s} * 15 \text{ b/s}) * 254 = 15.24 \text{ Mbp/s}$.

Men på grunn av begrensninger i systemarkitekturen, spesielt Reed-Solomon Code Error Correction (feilkorrigeringskode), blir den maksimale nedlastingshastigheten på 8.128 Mbp/s.

Teoretisk og faktisk opplastingshastighet

Når det gjelder opplasting får vi 30 lavfrekvens subkanaler. Subkanal 32, Nyquist opplastingsfrekvens, og 16, pilot opplastingsfrekvens, kan ikke brukes til å overføre brukerdata. Med samme regne stykke som for nedlasting får vi en teoretisk hastighet på 1.8 Mbp/s.

Akkurat som for nedlastning, har vi begrensninger for opplasting. Systemarkitektur, og da spesielt POTS splitter som kutter frekvenser for å skille PSTN med ADSL og duplex metoder, enten frekvensmultiplexing eller ekkokansellering. Vi får maks oppnåelige opplastningshastighet rundt 1Mbp/s.

Man kan også regne ut kapasiteten ved hjelp av Shannon Hartleys kanal-kapasitets teorem [SKH05]:

$$C = B \log_2(1 + \frac{S}{N}) \quad (3.1)$$

C = Kapasitet

B = Båndbredde

S/N = Signal/støy forhold

Eksempel med modem: 4 kHz

SNR for kobber = 25DB gir S/N = 336.8

C = 4000 Hz * 8.4 = 33 599 b/s

Nyquist's teorem for maks-kanal kapasitet kan også brukes til å beregne kapasitet, men denne tar ikke hensyn til interferens eller støy:

$$C = 2B \log_2 V \quad (3.2)$$

B: båndbredde i Hz

V: antall signalnivåer

3.2.1 Hvordan fungerer ADSL?

3.2.2 Hastighet

Når modemmet skal kobles til for første gang, startes det en automatisk utprøving av linjekvaliteten. Alle tonene blir testet og dersom signalet er bra, økes baudrate og bitrate. Dersom signalt på aktuell tone er for dårlig, vil baudraten reduseres eller forkastes. ADSL sin maksimale overføringskapasitet kan kun nåes dersom linjekvaliteten er bra. I tillegg vil også avstand til nærmeste sentral utstyrt med DSLAM, støy og ADSL-standard spille inn på overføringskapasiteten.

3.3 Multiplexing

ADSL tilbyr en full duplex forbindelse. Det vil si at data kan flyte i begge retninger samtidig. Dette kan gjøres ved hjelp av tre metoder:

1. Frekvensmultiplexing (FDM, Frequency Division Multiplexing) Transmisjonsretningene, opp- og nedlastning, benytter seg av hvert sitt eget dedikerte frekvensbånd.
2. Tidsmultiplexing (TDM, Time Division Multiplexing) Tidsmultiplexing tilbyr egentlig kun en vei om gangen og hver retning får tildelt et bestemt antall tid til å overføre, men på grunn av at det er snakk om veldig kort tid, og retningene skifter så fort at vi vil få en opplevelse av at vi har duplex forbindelse.
3. Ekkokansellering (EC, Echo Cancellation) Ekkokansellering benytter seg av samme frekvensbånd for begge transmisjonsretningene. Ekko fra den lokale senderen ankommer den lokale mottakeren og vil normalt være mye sterkere enn signalet fra den fjerne senderen. Mottaker kjenner det utsendte signalet og dermed kan mesteparten av ekkoene fjernes ved hjelp av signalprosessing. Dette er kjent fra V.32 og V.34 modem.

3.3.1 Hva er standard multipleksing for ADSL?

Det som er standard for ADSL er frekvensmultiplexing, men i noen tilfeller er det brukt ekkokansellering. Tidsmultiplexing er derimot i praksis ikke i bruk for ADSL. FDM tilbyr helt adskilte frekvensbånd for PSTN, ADSL opp og ADSL ned og dermed forstyrrer de ikke hverandre.

Grensene for frekvensene er ikke absolutte. Dette er ofte et definisjonsspørsmål, og forskjellige litteraturer operer med forskjellige tall. En annen årsak kan at nasjonale krav fører til ulike frekvensgrenser.

Det blir brukt et passivt høypass/lavpass filter, en splitter, hos abonnenten for å dele båndbredden mellom telefoni/tale (PSTN) og ADSL. Dette gjør det mulig å bruke telefoni og ADSL uavhengig av hverandre. Det er også et gap med ubrukt båndbredde mellom telefoni og ADSL for å unngå at de forstyrrer hverandre. Dersom det skulle oppstå feil på ADSL forbindelsen, vil det ikke gå utover telefonforbindelsen. Dette gjør at man ikke blir totalt isolert ved feil. Et slikt filter må brukes siden ADSL PSTN bruker samme kopperpar mellom bruker og sentral.

Analogtelefon og ADSL eller ISDN og ADSL kan fungere fint sammen på en og samme kabel. De krever ulik båndbredde og tilpassing av ADSL. Dette er beskrevet i Annex A og Annex B til ADSL standarden.

3.3.2 Modulasjon i ADSL

Det finnes to inkompatible måter for modulasjon av frekvensbåndet. Begge metodene er QAM (Quadrative Amplitude Modulation):

1. DMT (Discrete Multi Tone) med QAM-Modulsjon Dette er den offisielle ANSI-standarden for ADSL linjekoding.
2. CAP (Carrierless Amplitude and Phase Modulation)

3.4 Samtidig opplasting og nedlasting med ADSL

I utgangspunktet skal man kunne ha full hastighet begge veier samtidig med ADSL, men i praksis vil man kunne oppleve at dette ikke stemmer. Dette har egentlig ingenting med ADSL og svakheter med denne teknologien å gjøre. Når man bruker TCP til å laste ned en stor fil, så er det en toveiskommunikasjon. Det må sendes ACK til serveren som det lastes ned fra og dersom en samtidig foretar en stor opplasting, vil det kunne gå lang tid før det kan sendes en ACK pakke fra egen maskin. Applikasjon hos serveren vil tolke dette som om klienten har for dårlige linjer eller at klienten ikke takler så mye data på engang, og setter ned farten. Det er da serveren sitt applikasjonsprogram og TCP/IP som forårsaker endringene på hastigheten og ikke ADSL.

3.5 ADSL lite

G.lite eller Asymmetric Digital Subscriber Line Lite er en splitterløs ADSL teknologi. Siden den er splitterløs er den såkalt plug and play versjon. ADSL lite tilbyr mye lavere hastighet enn resten av ADSL familien [\[httd\]](#).

3.6 ADSL2

Asymmetric Digital Subscriber Line 2 er en forbedret versjon av ADSL. Av forbedringer finner man for blant anna støtte for nye applikasjoner, tjenester og økt rekkevidden med rundt 200m [\[httd\]](#).

3.7 ADSL2+

ADSL2+ har mange av de samme egenskapene som ADSL. da ADSL2+ bygger på ADSL teknologien, men ADSL2+ er 2. generasjons ADSL. Den har en del forbedringer.

3.7.1 ADSL2+ egenskaper

Maks nedlastingshastigheten er på hele 22Mb/s og opplastingshastigheten er på 1.5 Mb/s. Som ADSL bruker ADSL2+ de samme eksisterende telefonlinjene til å overføre data, men abonnenter må ha et modem som er klargjort for ADSL2+ standarden.

Områder som ikke er dekket av ADSL, kan faktisk være dekket av ADSL2+, men da med en hastighet på ca 800 kb/s. Dette kan være det beste tilbudet for kunder som bor langt unna telefonsentraler.

3.7.2 ADSL2+ begrensinger

For å få full utnytte av ADSL2+ kan man ikke bo lenger enn 3 km fra den nærmeste telefonsentralen.

3.8 ADSL2++

Asymmetric Digital Subscriber Line 2++, også kjent som ADSL4, er under utvikling. Målet er å kunne øke nedlastingshastigheten til 52Mbps og dette skal oppnås ved å øke frekvensen til 3.75 MHz [httd].

Kapittel 4

Symmetric High-bit rate DSL

Kalles også Singel-pair High-speed DSL på grunn av at det i utgangspunktet bare blir brukt ett kabelpar til samme kapasitet. SHDSL er en videreutviklet symmetrisk variant av High-bit rate DSL (HDSL), som i sin tid ble utviklet som et alternativ til linjesystem av orden 1. Forløperen til SHDSL er derimot Symmetric DSL (SDSL), som er en regional og proprietær løsning. Det betyr at din SDSL løsning ikke er kompatibel med andre komponenter enn med de komponentene levert fra de som leverer din SDSL standard. Noen bruker fortsatt SDSL, men standarden er egentlig avløst av SHDSL. I Telenor sitt aksessnett er det ikke lov å bruke SDSL, bare standardisert SHDSL etter ITU-T eller ETSI standard.

4.1 Hva er HDSL?

HDSL støtter full-duplex overføring, er symmetrisk og har lik båndbredde i begge retninger. HDSL er en videreutvikling av ADSL. HDSL har overføringshastigheter opptil 384 Kbps over ett kobbertråd par, men kjører full-duplex hastigheter opptil 1.544 Mbps (T1) og 2.048 Mbps (E1) over to kobbertråd par. HDSL bruker Two Binary One Quaternary (2B1Q) for data kompresjon, på samme måte som IDSL (Isdn DSL) og SDSL. HDSL støtter overføringer over avstander opptil 3.7 Km og 4.6 Km uten bruk av signal regeneratorene. Dette er gjennomførbart ved at man i parkabelnettet benytter oppsplitting og fordeling, noe som vil si at man kan få økt rekkevidde ved å dele opp i 2 eller 3 kabelpar.

4.2 Hva er SHDSL?

SHDSL er som sagt en viderutvikling av HDSL, og blir også kalt G.shdsl. SHDSL ble godkjent og ferdigstilt i 2001, og støtter bitrater mellom 192 og 2312 Kbps på avstander mellom 3-6 Km på en singel AWG26 (tilsvarer 0,4 mm) kabelpar. SHDSL støtter rask Internett tilgang, samt applikasjoner som krever mye båndbredde. Det kan være seg LAN, web-hosting, videokonferanser og lignende. SHDSL kjører full-duplex hastigheter på 1.544 Mbps(T1) og 2.048 Mbps(E1) på samme måte som HDSL, men for å oppnå full-duplex hastigheter på avtander over 12 km benyttes signal regeneratore. På den måten kan SHDSL tilby en hastighet på 192 Kbps på slike avstander. Det er derimot valgfritt å benytte regeneratore for både singel trådpar og dual trådpar. ITU standarden støtter opptil 8 regeneratore per trådpar, noe som vil gi en ekstremt lang rekkevidde.

SHDSL er kompatibelt med ATM teknologien, og støtter G.hs(handshake) protokollen. G.hs er en protokoll for å sette opp og ta ned igjen oppringninger. Dette for å sikre at kommunikasjonen mellom DSL delene er kompatibel.

SHDSL standarden fra 2003 bruker opptil 4 trådpar samtidig i aksessnett for å oppnå bitrater på opptil 9.248 Mbps. Dette vil såklart føre med seg en del kostnader, da det idag bare finnes 2-5 par inn til hvert hjem, og fra eldre av bare 2 par. Det er heller ikke mulig, slik som det er med ADSL/VDSL, å bruke samme trådpar til både telefon/ISDN og SHDSL, da SHDSL bruker basebandet av frekvensspekteret på linja. Så i praksis vil det si at bare abonnenter med 5 trådpar kan ha SHDSL med bitrater opptil 9.248 Mbps.

I et tillegg til standarden er det faktisk beskrevet muligheter for bitrater helt opp til 5.696 Mbps på ett trådpar, og opptil 22.784 Mbps på fire trådpar. SHDSL er et dyrt alternativ for Ola Nordmann.

4.3 SHDSL modulering

SHDSL bruker Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation (TC-PAM) for modulering av signaler, i motsetning til SDSL som bygger på 2B1Q. Det fører til større rekkevidder, samt bedre kompatibilitet med andre DSL teknologier. SHDSL er også kompatibelt med andre DSL standarder uten signalstøy, og minimal krysstale. SHDSL støtter TDM, ATM, Frame Relay samt flere andre nettverksprotokoller. SHDSL støtter også POTS in-band, som betyr bruk av VoDSL (Voice over DSL) eller kanalisert VoDSL for overføring av stemme.

I Annex E av G.SHDSL er det beskrevet bruk av bytewise interleaving skjema for transport over 4 linjer. Det betyr at odde nummererte time slots blir sendt over par 1, mens like nummererte time slots blir sendt over par 2. Bare like nummererte time slots er støttet.

Kapittel 5

Very-high Data-rate DSL

VDSL er en teknologi som baserer seg på ADSL. Forskjellen er at VDSL er laget for avstander opp til 1,5 km og at den har en høyere bitrate enn ADSL.

5.1 VDSL egenskaper

VDSL støtter asymmetriske nedlastingshastigheter helt opptil 51.840 Mbps på et singel tvistet kobberpar, men det er bare over en avstand på inntil 300 meter. Symmetriske varianter tilbys opptil 25.920 Kbps. Så det vil si at man bør være en nær nabo til telefonsentralen for å nyte godt av slike hastigheter. Men strekker man det over 1500 meter, kan man fortsatt få en hastighet på 13 Mbps. VDSL er både symmetrisk og asymmetrisk. VDSL ble standardisert i 2001.

VDSL rekker bare inntil 1 Km i kobberkabelen. Over det så må det bygges ut i kombinasjon med fiber. Standarden bruker 12 MHz i båndbredde, og DMT modulering. VDSL har samme opplastninghastighet som ADSL, fra 1.6 til 2.3 Mbps, men har ingen kompatibilitet med ADSL.

I frekvensbandet er datakanalen separert fra POTS/ISDN, noe som gjør at tjenesteleverandørene kan benytte VDSL over eksisterende tjenester. VDSL benytter Convolution Interleaving algoritmen for å beskytte data mot feil i avbrudd. Dette gjøres ved å spre data over flere Reed-Solomon codewords.

Det er sagt at VDSL er den standarden som er mest lovende når det gjelder å kunne levere alle ønskelige tjenester.

5.2 VDSL2

Fra VDSL har VDSL2 sitt utspring. Ved å øke båndbredden fra 12 MHz til 30 Mhz, kan VDSL2 tilby hastigheter helt opptil sjokkerende 100 Mbps. Men det kommer selvfølgelig med sine begrensninger, det gjelder bare over avstander opptil 100 meter. Så det vil si at her er det ikke nok å bare være en nær nabo til telefonsentralen, man bør vurdere å flytte inn der. Men det er bare hvis du vil ha 100 Mbps, og hvem vil vel ha det? I Norge benyttes VDSL2 på et frekvensområde på ca. 120 KHz og oppover.

Fordi man må flytte DSLAM lengre ut i aksessnett, og legge fiber derfra og inn til transportnett, så kan det by på problemer. Særlig i Norge, med tanke på miljø og klima. Ofte er det sånn at en DSLAM må stå ute.

5.3 VDSL2 egenskaper

VDSL2 kan tilby nedlastingshastigheter på inntil 51.84 Mbps på avstander opptil 300 m, 25.82 Mbps opptil 1000 m, og 12.96 Mbps på avstander opptil 1500. På avstander på 300 m og 1000 m, blir det snakk om FTTN (Fiber To The Node), og FTTC (Fiber To The Curb). VDSL2 skal som sagt kunne tilby en samlet opp og nedlastnings hastighet på 200 Mbps, og kan også brukes asymmetrisk innenfor gitte grenser. VDSL2 støtter flere videostrømmer, er HDTV kompatibelt, og støtter video on demand (VoD), videokonferanser og ip-telefoni.

5.4 VDSL2 standardisering

Standardiseringen startet i 2004, og var klar i 2005. VDSL2 er egentlig bare VDSL sin hastighet i tillegg til ADSL2+ sin rekkevidde og fleksibilitet. VDSL2 bruker DMT som modulasjonsteknikk, og har opptil 4096 toner, som er 8 * ADSL2+. Standarden har også integrert Quality of Service (QoS). VDSL2 benytter channel banding for å få en lengre rekkevidde og bærerate. Men likevel, fra en avstand på 6-700 m så er kapasiteten bare såvidt høyere enn VDSL.

5.5 VDSL2 kompatibilitet

VDSL2 er kompatibelt med ADSL, ADSL2 og ADSL2+, og fungerer sammen med eldre ATM nettverk på samme måte som det fungerer sammen med neste generasjons IP-baserte nettverk.

VDSL2 i Norge

I Norge er det JARA som gir ut operatøraksess spesifikasjoner for krav til systemer til bruk i Telenor sitt aksessnett. Denne spesifikasjonen dekker foreløpig per inngangen av 2006 ikke bruk av VDSL2.

Kapittel 6

Markedstrender

6.1 Europa

- Triple play med minst 3 DTV kanaler - 5 Mbps surfing - VoIP - 30 Mbps nedlastingshastighet - 3 Mbps opplastningshastighet - VDSL2 - ADSL backwards kom-pabilitet - 20.5 dBm i overføringskraft - Passer inn i ATM infrastruktur - ADSL lignende ytelse over lang distanse

6.2 USA

- Triple play med 3 HDTV - 5 Mbps - VoIP - 30 Mbps nedlastingshastighet - 3 Mbps opplastningshastighet - VDSL2 - ADSL backwards kom-pabilitet - 17.5 dBm i overføringskraft - ADSL lignende ytelse over lang distanse

6.3 Japan, Korea, Taiwan

- Oppgradering av eksisterende overføringsrater på 70 Mbps til 100 Mbps, symmet-risk - Altså; 100 Mbps både i ned- og opplastings hastighet - VDSL2 - 14.5/20.5 dBm i overføringskraft - ADSL lignende ytelse over lang distanse

6.4 Videre utvikling

European Commision-funded Multiservice Access Everywhere (MUSE) forventer at innen år 2010 så vil 10% av europeere ha tjenesteleveringer på minst 10 Mbps, det vil inkludere blant annet triple play og HDTV [[httg](#)].

Kapittel 7

Konklusjon

DSL er nok en teknologi som har kommet for å bli. Teknologien er i stadig utvikling, og nye banebrytende hastigheter kommer stadig vekk. Dessuten så er DSL også veldig pålitelig fordi den benytter seg nettopp av den mest pålitelige infrastrukturen i verden, nemlig det kobberbaserte telefon nettverket. Det at DSL også har vært under utvikling og forbedring i over ti år, gjør at det her er snakk om en utprøvet teknologi, noe som også bidrar til å bygge oppunder påliteligheten. I tillegg er man alltid oppkoblet, og slipper all den ventingen tidligere teknologier byr på. DSL er enkelt å installere, man kan stort sett gjøre det selv, og det er sikkert. Innenfor DSL finnes det også reell konkurranse, ihvertfall i Norge, hvor man lett kan finne hva som passer både seg selv og lommeboka best.

Bibliografi

- [Fut04] Johan Futsæther. *Faktablad*. <http://www.kunnskapsnett.no/innhold/FB%20ADSL.htm>, 2004.
- [hta] <http://amchouston.home.att.net/lngc.htm>.
- [httb] <http://en.wikipedia.org/>. *Pulse amplitude modulation*.
- [httc] <http://no.wikipedia.org/wiki/ATM>.
- [httd] http://www.centre.com/corporate/media/whitepapers/dsl._wp_c.pdf.
- [htte] <http://www.dslforum.org>.
- [httf] <http://www.dslforum.org>.
- [httg] <http://www.dslforum.org>.
- [Lek03] Kurt Lekanger. *Bredbånd og hjemmenettverk*. IDG Norge Books AS, 1 edition, 2003.
- [Lit02] Marlyn Kemper Littman. *Building broadband networks*. CRC Press LLC, 1 edition, 2002.
- [SKH05] Olav Skundberg, Bjørn Klefstad, and Oyvind Hallstein. *Introduksjon til datakommunikasjon*. TISIP and Gyldendal Norsk Forlag, 1 edition, 2005.
- [Sta04] William Stallings. *Data and computer communications*. Prentice Hall, 7 edition, 2004.

Figurer

2.1	Local loop	4
2.2	DSL komponenter	6
2.3	Virtuell kanal mellom kunde og leverandør	7
2.4	Aktuelle DSL varianter	9
2.5	Spesifikasjon av DSL standardene	10

Tabeller

3.1	ADSL standarder [hta]	13
-----	---	----

Tillegg A

Ordforklaringer

ATM: ‘ATM ‘er en celle-basert transmisjons- og svitsjeteknologi basert på 53 byte store celler som hver har 48 byte nyttelast og 5 byte overhead. Cellene kan være bærer av mange ulike typer signaler. ATM var opprinnelig tenkt som teknologi for å realisere for B-ISDN, men brukes i dag mye til generell datakommunikasjon. Har ‘ekte’ QoS (Quality of Service) til forskjell fra enkle IP-baserte systemer. Bruksområdene er gjerne i forbindelse med ulike bredbåndsaksesssystemer der overføring er ATM-basert fra DSLAM eller CMTS og innover i ISP-ens nett. Det er definert en rekke tjenesteklasser tilpasse ulike behov [[httc](#)].”

BAUD: er antall signaler per sekund. Kan også forklares som antall bit per sekund, brukes som en betegnelse på lave hastigheter.

ETSI: European Telecommunications Standards Institute er en selvstendig standardiserings organisasjon for telekommunikasjon i Europa.

E1: er Europas svar på nord Amerikas T1 (se T1), og er en punkt-til-punkt kommunikasjonslinje med 32 65 Kbps kanaler. E1 bærer data på en høyere rate enn T1, fordi den ikke bruker ekstra bits på framing og synkronisering.

FTTN: (Fiber To The Node) og **FTTC** (Fiber To The Curb) er to av flere ofte brukte forkortelses som forteller hvor teleselskapene må legge fiber.

ITU: International Telecommunication Union er en internasjonal organisasjon for å standardisere og regulere radio og telekommunikasjon. Verdens eldste internasjonale organisasjon.

ITU-T: Er en undergruppe av ITU, og står for ITU Telecommunication Standardization Sector. Oppgaver den har er å koordinerer standarder for telekommuni-

kasjon.

POTS: Plain Old Telephone Services, er de eksisterende kobberlinjene i telefonnettverket.

Reed-Solomon code: er en blokk baserte feilrettings kode som brukes i lagringssystemer som CD, DVD, og lignende, i trådløs eller mobil kommunikasjon, satelitt kommunikasjon, digital tv, og i høyhastighetsmodem som xDSL. Enkodings systemet tar en blokk med digital data og legger på ekstra redundantbits. Dekoderen går igjennom hver blokk og prøver å rette opp feil, samt å gjenopprette opprinnelige data. Antall feil, samt typer feil som blir rettet opp kommer ann på karakteristikken av Reed-Solomon koden.

Signal regenerator: forsterker signaler i kabelen, etter at det har tapt seg.

TDM: Time Division Multiplexing er tidsmultiplexing som tilbyr kun en vei om gangen hvor hver retning får tildelt et bestemt antall tid til å overføre. På grunn av at det er snakk om veldig kort tid, og fordi retningene skifter så fort, vil vi få en opplevelse av at vi har en duplex forbindelse.

T1: (også kalt DS1) er linjetilkobling som støtter datarater inntil 1.544 Mbps. Består av 24 individuelle kanaler, hvor hver kanal har en støtte på 64 Kbps (8 KHz framing * 8 bits/kanal). Hver av disse 64 Kbps kanalene er konfigurert for å overføre stemme eller data trafikk. T1 bygger på en synkronklokke arkitektur. Bruker 8 Kbps av de 64 Kbps kanalene til framing og synkronisering.

QoS: Quality of Service, med det menes kontroll mekanismer som gir forskjellig prioritet til forskjellige brukere eller dataflyter. Eller at de garanterer et visst nivå på datastrømmen. Viktig i nettverk hvor nettverkskapasiteten er begrenset.

2B1Q: 2 Binary 1 Quaternary er en full-duplex enkodings metode på det fysiske laget. Brukes i digital kommunikasjons teknologi. To binære bits bli enkodet i et quaternary signal, noe som doublerer effektiviteten på overføringen.

POTS: Plain Old Telephone Service

PSTN: Public Switched Telephone Network

ATU-R: ADSL Transmission (Transceiver) Unit - Remote (ADSL-modem)

ATU-C: ADSL Transmission (Transceiver) Unit - Central (ADSL-modem i sentralen)

ISP: Internet Service Provider