DSL (Distributed Subscriber Line)

اعظم زمانی
Zamani_azam2003@yahoo.com

زمن خزعلی
Khazali_zaman2003@yahoo.com

چکیده

DSL یک تکنولوژی دسترسی به اینترنت می باشد که با استفاده از سیستمهای CAP،DMT و ... روی خطوط تلفن فعلی در منازل می تواند ارتباطی بسیار سریع با اینترنت برقرار نماید. DSL مزایای زیادی دارد. از قبیل اینکه میتوان بطور همزمان ارتباط صوتی و داده ای برقرار نمود. انواع گوناگونی از سرویس DSL وجود دارد که ADSL و VDSL پرکاربردترین آنها می باشند.

کلمات کلیدی

UpStream , DownStream ,Twisted-pair, Loading Coil , POTS , DMT, CAP, FDM ,Echo Cancellation, Transciever, DSLAM,.

مقدمه

در حال حاضر اکثر کاربران شبکه اینترنت از طریق موم های آنالوگ به اینترنت دست می یابند. افزایش سریع حجم داده های اینترنت و نیاز به مالتی مدیا، موجب پیدایش تکنولوژی های پیشرفته ای جهت از بین بردن محدودیتهای کنونی و استفاده از تسریع بخشیدن به سرعت انتقال داده ها، صوت و تصویر شده است. تکنولوژی DSL با استفاده از فرکانسهای بالاتر از فرکانسهای استفاده شده در مخابرات که 4 کیلو هرتز می باشند و با تکامل Digital Signal Processing (DSP) قادر به ارسال داده ها تا 50 برابر سرعت مودم های آنالوگ می باشد.

DSL چیست؟

DSL مخفف Digital SubScriber Line و یک تکنولوژی مودم است که از کابلهای Twisted pairموجود خطوط تلفن برای انتقال داده های با پهنای باند بالا از قبیل مالتی مدیا و ویدئو برای سرویسهای مشترک استفاده می کنند.

انواع گوناگونی از DSL وجود دارد . از قبیل: ADSL ، SDSL ، HDSL ، RADSL، VDSL و .... سرویسهای DSL دسترسی به شبکه های عمومی را به صورت نقطه به نقطه (Point to point) به وسیله سیمهای مسی Twisted-pair بر روی شبکه های محلی بین فراهم کننده (Provider) سرویس شبکه در اداره مرکزی سایت مشتری یا روی حلقه های ایجاد

شده دیگر فراهم می کند. اخیراً کانون تمرکز اصلی در DSL ، بیشتر روی تکنولوژی ها و ساختارهای ADSL و VDSL متمرکز شده است.

به طور کلی میتوان گفت هنگامیکه به اینترنت متصل می شویم، ممکن است یا از طریق یک مودم معمولی، یا از طریق شبکه LAN ، از طریق مودم کابلی و یا از طریق خط ارتباط DSL به این کار مبادرت ورزیم.

مزایا و معایب DSL :

برخی مزایای DSL عبارتند از:

- شما می توانید ضمن ارتباط با اینترنت، از خط تلفن خود برای مکالمات صوتی استفاده کنید.
- سرعت این ارتباط خیلی بالاتر از یک مودم معمولی است (1.5 Mbps در مقایسه با 56 kbps)
- DSL لزوماً نیازی به کابل کشی جدید ندارد بلکه می تواند از خط تلفن فعلی شما برای ارتباط استفاده کند.
- شرکتی که سرویس DSL را ارائه میکند، معمولاً مودم را به عنوان بخشی از نیازهای سیستم عرضه می نماید.

اما DSL دارای تعدادی معایب نیز می باشد:

- ارتباط DSL هنگامیکه شما به مرکز سرویس فراهم آور خدمات اینترنت نزدیکتر باشید، بهتر کار میکند.
- ارتباط DSL در مورد دریافت داده ها سریعتر از ارسال داده ها عمل می نماید.
- این سرویس در همه جا موجود نیست.

در اینجا ما چگونگی عملکرد تکنولوژی DSL در متراکم نمودن اطلاعات روی یک خط تلفن استاندارد را توضیح خواهیم داد و خواهیم گفت که چگونه میتوان به طور همزمان برای مکالمات تلفنی و ارتباط OnLine با اینترنت از خطوط تلفن استفاده کرد.

یک سیستم تلفن استاندارد در امریکا مبتنی بر یک زوج سیم مسی می باشد که شرکت تلفن آنرا در خانه شما نصب می کند. سیم های مسی دارای مقدار زیادی فضا برای حمل اطلاعاتی بیش از مکالمات تلفنی هستند. آنها قادر به کنترل عرض باند بیشتری بوده و طیف وسیعی از فرکانسها را بیش از چیزی که برای انتقال صوت لازم است پشتیبانی می کنند. DSL از این فضای اضافی برای حمل اطلاعات روی سیم مسی استفاده می کند، بدون اینکه در کیفیت ارسال مکالمات مشکلی ایجاد شود.. طرح کلی مبتنی بر سازگار نمودن فرکانسهای خاص با وظایف خاص می باشد.

برای فهم DSL شما می بایست دو چیز را در مورد یک خط تلفن معمولی که متخصصین تلفن از آن به عنوان POTS یاد می کنند، بدانید. یکی از روشهایی که POTS در اغلب تجهیزات و کابلهای شرکت تلفن اعمال می نماید، محدود نمودن فرکانسهایی است که سوئیچها، تلفنها و سایر تجهیزات حمل خواهند نمود. صوت انسان را می توان در محدوده فرکانسی صفر تا 3400 هرتز منتقل نمود . این طیف فرکانسی بسیار محدود و کوچک می باشد. برای مثال این طیف فرکانسی را با طیف مورد استفاده در اغلب اسپیکرهای استریویی که در محدوده 20 تا 20000 هرتز قرار دارند، مقایسه کنید. خود سیمها توان کنترل فرکانسهایی تا چندین میلیون هرتز را دارند.

استفاده از بخش بسیار کوچکی از کل عرض باند سیم مسی جنبه تاریخی دارد. به خاطر بیاورید که سیستم تلفن حدود یک قرن است که با استفاده از یک شبکه متشکل از زوج سیمهای کشیده شده به هر خانه عمل می نماید. با محدود نمودن فرکانسهای حمل شده روی سیم، سیستم تلفن می تواند تعداد زیادی از سیمها را بدون نگرانی در مورد بروز تداخل بین آنها در یک فضای کوچک بسته بندی نماید. تجهیزات مدرنی که از تکنولوژی دیجیتال استفاده می کنند از ظرفیت خط تلفن بسیار بیشتر بهره گیری می نمایند. DSL یکی از این موارد است.

اغلب کاربران تجاری کوچک به یک خط DSL نامتقارن (ADSL) متصل می شوند. ADSL فرکانسهای موجود در یک خط را بر اساس این فرض که اغلب کاربران اینترنت اطلاعات بسیار بیشتری را نسبت به آنچه که ارسال می کنند از اینترنت دریافت می کنند، فرکانسها را تقسیم می نماید. با این فرض که اگر سرعت ارتباط از اینترنت تا کاربر 3 تا4 برابر سریعتر از ارتباط از سوی کاربر به اینترنت باشد، وضعیت مطلوب خواهد بود.

صدا و داده :

میزان بهره گیری شما از DSL مبتنی بر فاصله ای است که شما از سرویس DSL دارید. DSL یک سرویس حساس به فاصله می باشد: همچنانکه طول ارتباط افزایش می یابد، کیفیت سیگنال کاهش یافته و سرعت ارتباط کم می شود.حد نهایی سرویس DSL، 5460 متر می باشد. اگرچه از جنبه کیفیت خدمات و سرعت ارتباط، اغلب فراهم آوران خدمات DSL حد پائینتری نسبت به عدد ذکر شده لحاظ می کنند.

در مرزهای محدود قابل قبول سرویس DSL مشترکین با کاهش شدید سرعت مواجه می شوند. درحالیکه آنهایی که نزدیک به سرویس مرکزی قرار دارند، از حداکثر سرعت بهره مند می شوند. تکنولوژی DSL می تواند حداکثر سرعت DownStream 8 مگابیت در ثانیه در فاصله حدود 1820 متر و سرعت UpStream تا 640 کیلوبیت بر ثانیه را در اختیار کاربران قرار دهد. در عمل بهترین سرعتهای موجود امروزی در مسیر DownStream تکنولوژی DSL به میزان 1.5مگابیت برثانیه است و سرعت UpStream بین 64 تا 640 کیلوبیت بر ثانیه می باشد.

ممکن است تعجب کنید که چرا فاصله برای تکنولوژی dsl یک محدودیت می باشد و چرا این محدودیت در مورد مکالمات صوتی وجود ندارد؟

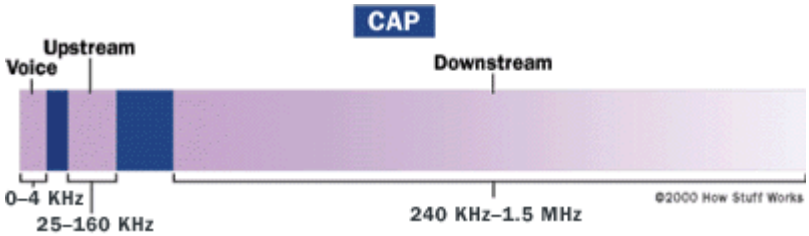
جواب این سوال در تقویت کننده های کوچکی به نام Loading Coils می باشد که شرکت تلفن برای تقویت سیگنالهای صوتی استفاده می کند. متاسفانه این Loading Coil ها با سیگنالهای DSL سازگاری ندارند. بنابراین یک Coil صوتی در حلقه بین تلفن شما و مرکز تلفن هنگام دریافت اطلاعات DSL کیفیت بدی را ارائه می کند.

فاکتورهای دیگری که ممکن است تاثیر منفی روی تکنولوژی DSL بگذارند، عبارتند از:

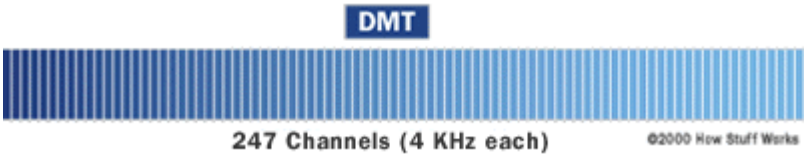
- Bridge Taps : بین شما و مرکز تلفن تجهیزاتی وجود دارد که امکان ارائه این سرویس را به سایر مشتریان می دهد. درحالیکه شما به این تجهیزات در سرویس تلفن معمولی توجهی ندارید، آنها می توانند کل طول مدار ارتباطی را از محدودیتهای فاصله فراتر ببرند.
- کابلهای فیبرنوری : سیگنالهای DSL نمی توانند در تبدیل از آنالوگ به دیجیتال و بالعکس هنگام وجود کابل فیبر نوری در مسیر، درست عمل کنند.
- فاصله: حتی اگر شما بدانید که مرکز تلفن در کجا واقع شده است با نگاه به نقشه نمی توانید فاصله عبور مسیر یک سیگنال بین منزل خود و مرکز تلفن را دریابید.

تجزیه سیگنال:

دو استاندارد رقیب و ناسازگار با یکدیگر در مورد تکنولوژی DSL وجود دارد. استاندارد رسمی ANSI برای DSL سیستمی به نام Discrete Multi Tone یاDMT می باشد. اغلب تجهیزات DSL امروزی از DMT استفاده می کنند. استاندارد قدیمی تر به نام Carierless Amplitude/Phase یا سیستم CAP وجود دارد که قبلاً از آن استفاده می گردید.



سیستم CAP سیگنالهای موجود در خط تلفن را به سه باند متمایز از هم تقسیم می کند: مکالمات صوتی در باند صفر تا 4 کیلوهرتز حمل می شوند. کانال UpStream در باند 25 تا 160 کیلوهرتز اطلاعات را منتقل می کند و کانال DownStream در فرکانس 240 کیلو هرتز تا فرکانسی که مقدار آن به شرایطی همانند طول خط، نویز خط و تعداد کاربران در یک سوئیچ خاص شرکت تلفن بستگی دارد، قرار دارد. اما حداکثر فرکانس آن، 1/5 مگاهرتز می باشد. این سیستم با سه کانال کاملاً جدا امکان تداخل بین کانالهای روی یک خط یا بین سیگنالها در خطوط مختلف را به حداقل می رساند.



سیستم DMT همچنین سیگنالها را به سه کانال جداگانه تقسیم می کند. اما از بین این 247 کانال جداگانه که هر یک 4 کیلو هرتز پهنا دارند، از دو تای آنها استفاده می کنند. در واقع اینطور تصور کنید که شرکت تلفن خط ارتباطی شما را به 247 خط 4 کیلوهرتزی تقسیم نموده و سپس به هر یک از این خطوط یک مودم متصل می کند. شما معادل این 247 مودم را یکباره در اختیار خواهید داشت. هر کانال دائماً تحت نظارت قرار دارد تا اگر کیفیت سیگنال مطلوب نباشد، سیگنال به کانال دیگری شیفت پیدا کند. این سیستم دائماً سیگنالها را بین کانالهای مختلف Shift می دهد و بهترین کانال را برای ارسال و دریافت پیدا می کند. بعلاوه برخی از کانالهای موجود در فرکانسهای پائینتر به عنوان کانالهای دو طرفه برای انتقال و دریافت اطلاعات مورد استفاده قرار می گیرند.

نظارت و دسته بندی اطلاعات روی کانالهای دو طرفه و حفظ کیفیت همه 247 کانال، تکنولوژی DMT را پیچیده تر از CAP می نماید. اما در عوض قابلیت انعطاف پذیری بیشتری را روی خطوطی با کیفیت متفاوت ارائه می دهد.

تجهیزات DSL :

DSL از دو ابزار یکی در سمت مشترک و دیگری در سمت شرکت ارائه دهنده خدمات اینترنت (Provider) استفاده می نماید. در موقعیت فیزیکی مشترک یک فرستنده/ گیرنده DSL یا Transciever وجود دارد که امکان دسترسی به سایر سرویسها را فراهم می کند. فراهم آور یا Provider سرویس DSL دارای یک مالتی پلکسر دسترسی DSL یا DSLAM برای دریافت اطلاعات از سمت مشترک می باشد.

فرستنده/گیرنده DSL یا Transciever :

اغلب مشترکین خانگی از فرستنده/ گیرنده DSL به عنوان مودم DSL یاد می کنند. مهندسان در شرکت تلفن یا ISP از آن به عنوان ATU-R نام می برند. بدون توجه به نام آن این دستگاه نقطه ای است که در آنجا داده ها از کامپیوتر کاربر یا شبکه به خط DSL متصل می شوند.

فرستنده/گیرنده را می توان با چند روش به یک دستگاه سمت مشترک متصل نمود. اغلب سیستمهای خانگی از ارتباط USB یا اترنت 10-Base-T استفاده می کنند. در حالیکه اغلب فرستنده/گیرنده های DSL عرضه شده به وسیله ISP ها و شرکت تلفن، فرستنده/گیرنده می باشند،اما دستگاههای مورد استفاده در شرکتهای تجاری ترکیبی از Router ها، Switchها و یا سایر تجهیزات شبکه بندی هستند.

DSLAM (مالتی پلکسر DSL):

DSLAM در نقطه دسترسی سرویس DSL، از تجهیزاتی است که واقعاً امکان می دهد که DSL کار خود را انجام دهد. یک DSLAM ، خطوط ارتباطی جهت یافته از سوی تعداد زیادی از مشترکین را دریافت نموده و آنها روی یک خط ارتباطی واحد با ظرفیت بالا به اینترنت منتقل می کند.

DSLAM بسیار انعطاف پذیر بوده و قادر به پشتیبانی چندین نوع DSL در یک مرکز تلفن واحد و تعداد گوناگونی از پروتکلها و روشهای مدولاسیون می باشد. بعلاوه DSLAM می تواند وظایفی همانند مسیریابی یا تخصیص آدرس دینامیکی IP برای مشترکین را فراهم کند.

DSLAM یکی از تفاوتهای اصلی بین سرویس کاربر از طریق مودم DSL و از طریق مودم کابلی می باشد. از آنجایی که کاربران مودم های کابلی عموماً یک حلقه شبکه را که که از طریق یک گره همسایه کنترل می شود، به اشتراک می گذارند، اضافه شدن کاربر جدید، به معنای کاهش عملکرد این سیستم می باشد.

انواع DSL :

گفتیم که DSL انواع گوناگونی دارد. از قبیلADSL ، IDSL ، CDSL ، DSL Lite،HDSL، SDSL ، RADSL، UDSL و VDSL . که از بین انواع گوناگونی که برای DSL شناخته شده است، از ADSL و VDSL بیشتر از بقیه موارد استفاده می شود. در زیر به توضیح مختصری از انواع DSL می پردازیم و مبحث ADSL و VDSL را مورد بررسی قرار می دهیم.

ADSL :

ADSL مخفف Asymmetric Digital Subscriber Line می باشدو شکلی از DSL است که برای کاربران تجاری کوچک و خانه ها آشنایی بیشتری دارد. ADSL را نامتقارن می نامند. به دلیل اینکه دارای پهنای باند بیشتری در DownStream نسبت به UpStream می باشد و کاربران این تکنولوژی، به طور معمول خیلی بیشتر از آن چیزی که اطلاعات می فرستند، می توانند اطلاعات را از شبکه دریافت کنند. سرعت نقل و انتقالات در ADSL بیشتر از 6 Mbps برای ارسال اطلاعات به مشترک و بیشتر از 640 Kbps برای ارسال و دریافت اطلاعات مشترک (در هر دو مسیر) می باشد.

CDSL :

CDSL مخفف Consumer Digital Subscriber Line و یک علامت تجارتی از نسخه DSL است و کمی کندتر از ADSL می باشد (1 Mbps برای DownStream و احتمالاً

کمتر برای UpStream). اما یک مزیت دارد که یک Splitter احتیاجی به نصب در پایانه کاربر ندارد.Rockwell صاحب این تکنولوژی و سازنده یک تراشه برای آن، اعتقاد دارد که شرکتهای تلفن باید قادر باشند که آنرا در یک محدوده قیمت ماهانه بین 40 تا 45 دلار تحویل دهند. CDSL بیشتر از DMT یا CAP تکنولوژی ADSL استفاده می کند.

G.Lite or DSL Lite:

G.Lite (که همانند DSL Lite دو نیم کننده ADSL و ADSL عمومی شناخته شده است) ذاتاً یک کند کننده ADSL است که احتیاجی به دو نیم کردن خط پایانه کاربر ندارد اما دو نیم کردن (شکافتن یا Splite کردن) آنرا برای کاربران دور از شرکت مخابرات اداره می کند.

G.Lite سرعت داده ای از 1.544 Mbps تا 6 Mbps برای DownStream و از 128 kbps تا 384 kbps برای UpStream را فراهم می کند. گمان می رود G.Lite به صورت نوعی از DSL در بسیاری از جاها نصب و به کار گرفته شده باشد.

HDSL:

قدیمی ترین نوع DSL که در بسیاری از جاها استفاده شده است، HDSL یا High-bit-rate DSL می باشد. که برای انتقال دیجیتال باند پهن در یک سایت، بین شرکت مخابرات و یک مشتری استفاده شده است. ویژگی اصلی HDSL این است که متقارن است. یعنی در هر دو مسیر دارای پهنای باند مساوی می باشد. به همین دلیل ماکزیمم سرعت انتقال داده در آن پائینتر از ADSL است. HDSL می تواند مقدار زیادی اطلاعات را روی یک سیم مسی تکی از کابلهای Twisted pair حمل کند. همچنان که روی یک خط T1 در امریکای شمالی یا یک خط E1 در اروپا این کار را انجام داده است (2320 Kbps).

IDSL:

IDSL مخفف ISDN DSL می باشد و تا اندازه ای یک نام بی مسمی و غلط است. چون آن واقعاً یک محدود کننده سرعت داده ای ISDN و سرویسهایی که در 128 Kbps نسبت به سرعتهای خیلی بالاتر هستند، می باشد.

RADSL:

RADSL مخفف Rate Adaptive DSL و یک تکنولوژی DSL از Westell است که هر نرم افزاری قادر است سرعت سیگنالهای انتقال یافته روی خط تلفن مشترک را معین کند و سرعت انتقال را بر طبق آن تنظیم کند. سیستم Westell flexcap2 از RADSL برای انتقال 640

Kbps تا Mbps 2.2 برای DownStream و از kbps 272 تا Mbps 1.088 برای UpStream روی خطوط تلفن موجود، استفاده می کند.

SDSL:

SDSL مخفف Single Line DSL ظاهراً همان HDSL با یک خط است که در امریکا و کانادا Mbps 1.544 و در اروپا Mbps 2.048 را در هر دو مسیر روی یک خط دوطرفه حمل می کند.

UDSL:

UDSL مخفف Unidirectional DSL پیشنهاد یک شرکت اروپایی است و یک نسخه یکسویه از HDSL می باشد.

VDSL:

VDSL مخفف Very High Data Rate DSL و یک تکنولوژی توسعه یافته است که احتمال می رود در مسافتهایی نسبتاً کوتاه (1000 فوت یا 300 متر) سرعت انتقال بسیار بالایی (بین Mbps 51 تا Mbps 55) داشته باشد. به نظر می رسد که VDSL بعد از ADSL به وجود آمده باشد و در بسیاری از جاها توسعه یافته و این دو با یکدیگر به کار گرفته می شوند. تکنولوژی انتقال (CAP و DMT و ...) و تاثیرات آن روی برخی از محیط ها هنوز معین نشده است. تعدادی از سازمانها و تشکیلات استاندارد روی این موضوع کار می کنند.

X2/DSL:

X2/DSL یک مودم طراحی شده از شرکت 3COM و UsRobotics می باشد که ارتباطات مودم kbps 56 را پشتیبانی می کند. اما با نصب نرم افزاری جدید برای ADSL که قابل دسترس برای محیطهای کاربران است، ارتقا پیدا نمی کند (کیفیت آن بهتر نمی شود).

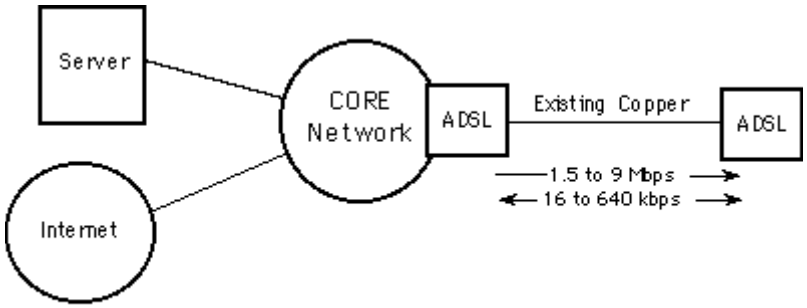
خلاصه ای از انواع DSL:

DSL Type	Max. Send Speed	Max. Receive Speed	Max. Distance	Lines Required	Phone Support
ADSL	800 Kbps	8 Mbps	18,000 ft (5,500 m)	1	Yes
HDSL	1.54 Mbps	1.54 Mbps	12,000 ft (3,650 m)	2	No
IDSL	144 Kbps	144 Kbps	35,000 ft	1	No

MSDSL	2 Mbps	2 Mbps	(10,700 m) 29,000 ft (8,800 m)	1	No
RADSL	1 Mbps	7 Mbps	18,000 ft (5,500 m)	1	Yes
SDSL	2.3 Mbps	2.3 Mbps	22,000 ft (6,700 m)	1	No
VDSL	16 Mbps	52 Mbps	4,000 ft (1,200 m)	1	Yes

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) :

ADSL ، بدون اغراق می تواند شبکه اطلاعاتی عمومی موجود را از یک چیز محدود شده به صدا و متن و گرافیکهای با کیفیت پائین،تبدیل کند به یک سیستم قدرتمند و حاضر در همه جا که قادر است مالتی مدیا را که شامل تمامی حرکات ویدئویی است، به خانه هر کسی ببرد.



ADSL Connection

ADSL برای مدت 10 سال یا بیشتر که شرکتهای تلفن یا سرویس دهنده های دیگر برای انتقال اطلاعات با فرمتهای ویدئو و مالتی مدیا وارد بازار می شوند، نقش قاطعی را بازی خواهد کرد.

کابلهای پهن باند جدید، برای مشترکین دهه های بعد استفاده خواهد شد. اما موفقیت این سرویسهای جدید وابسته به قابل دسترس بودن سرویسها برای مشترکین در چند سال آینده است. با روی کار آمدن فیلمها، تلویزیون، کاتالوگهای ویدئویی، CD-ROM های خارجی(Remote)، شبکه های LAN یکپارچه و اینترنت به خانه ها، ADSL بازار سودمندی برای شرکتهای تلفن (مخابرات) و تامین کننده های کاربردی مشابه به وجود خواهد آورد.

توانائیهای ADSL :

یک مدار ADSL به یک مودم ADSL متصل می گردد که بر روی هر پایانه از یک خط تلفن Twisred-pair وجود دارد و سه کانال اطلاعاتی مختلف به وجود می آورد: یک کانال پرسرعت برای DownStream ، یک کانال دو طرفه با سرعت متوسط و یک کانال سرویس تلفن اصلی. کانال سرویس تلفن اصلی به وسیله فیلترهای یک مودم دیجیتالی به دو نیم می شود. بنابراین اگر ADSL خراب شود، سرویس تلفن اصلی بی وقفه آنرا ضمانت می کند.

کانال سرعت بالا محدوده ای از 1/5 تا 6/1 مگابیت در ثانیه و سرعتهای دو طرفه، محدوده ای از 16 تا 640 کیلوبیت در ثانیه دارند.

مودمهای ADSL ، سرعتهای داده ای سازگار با سلسله مراتب دیجیتالی امریکای شمالی و اروپا فراهم می کنند و می توانند با محدوده های سرعت و توانائیهای مختلف خریداری شوند. پیکربندی های کوچک (Min) ، 1/5 تا 2 مگابیت در ثانیه برای DownStream و 16 kbps برای کانالهای دوطرفه فراهم می کنند. پیکربندی های دیگر سرعتهای 6.1 Mbps را برای DownStream و 64 kbps را برای کانال دوطرفه فراهم می کنند.

امروزه محصولات با سرعتهای DownStream بالاتر از 8 Mbps و سرعتهای دوطرفه بالاتر از 640 kbps قابل دسترس می باشند. مودمهای ADSL ، حالت انتقالی ATM را با سرعتهای متغیر جای داده اند و به خوبی جبران سربار (Overhead) ATM را می نمایند.

سرعت DownStream داده ها به چندین عامل وابسته است. از قبیل طول سیم مسی، مقیاس سیم، حضور نوارهای پل دار و تداخل زوجهای پیوندی. باریک شدن خط با طول خط و بسامد آن افزایش می یابد و با افزایش قطر سیم کاهش پیدا می کند. با صرف نظر از نوارهای پل دار، ADSL به صورت جدول زیر عمل می کند:

Table 15-1: Claimed ADSL Physical-Media Performance

Data rate (Mbps)	Wire gauge (AWG)	Distance (feet)	Wire size (mm)	Distance (kilometers)
1.5 or 2	24	18,000	0.5	5.5
1.5 or 2	26	15,000	0.4	4.6
6.1	24	12,000	0.5	3.7
6.1	26	9,000	0.4	2.7

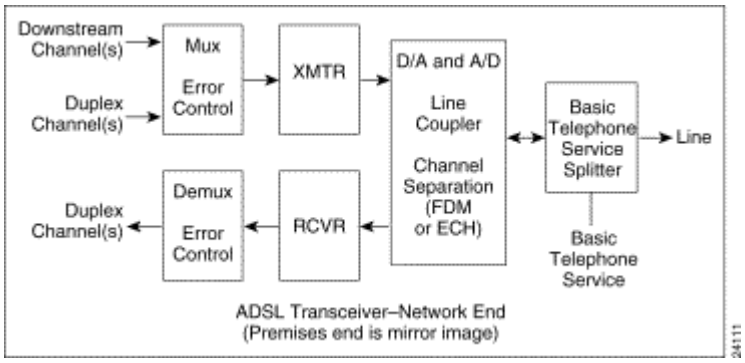
اگرچه اندازه گیری های گوناگونی از Telco به Telco صورت گرفته است، این توانائیها می توانند بیش از 95٪ از حلقه ای که وابسته به سرعت داده است را پوشش دهند. مشتریهای آنسوی این مرزها می توانند با سیستمهای DLC فیبری به آن دست پیدا کنند. این سیستمهای DLC به صورت تجاری قابل دسترس شده اند. شرکتهای تلفن می توانند دسترسیهای حاضر در همه جا را به صورت مجازی در یک زمان نسبتاً کم عرضه نمایند.

کاربردهای زیادی برای ADSL در نظر گرفته شده است. از قبیل : ویدئوهای فشرده شده دیجیتالی. ویدئوی دیجیتالی شبیه یک سیگنال بلادرنگ (Real-Time) نمی توانند در پیوندها یا در پروسیجرهای کنترل خطای شبکه استفاده شوند و عموماً در سیستمهای ارتباطاتی داده پیدا می شود. بنابراین مودمهای ADSL ترکیب آماده ای از تصحیح خطا دارند که به طور دراماتیک خطاهایی را که به سبب نویز حرکتی به وجود آمده اند کاهش می دهد. تصحیح خطا روی یک اصل سمبل به سمبل همچنین خطاهایی را که به سبب نویزهای پیوسته روی یک خط به وجود می آید کاهش می دهد.

تکنولوژی ADSL :

ADSL به پردازش سیگنال دیجیتال پیشرفته و ایجاد الگوریتمهای آن برای فشردن بیشتر اطلاعات در یک خط تلفن Twisted pair وابسته است. بعلاوه بسیاری از پیشرفتها به ترانسفورمرها، فیلترهای آنالوگ و مبدلهای آنالوگ / دیجیتال احتیاج دارند. خطوط تلفن طولانی ممکن است سیگنالها را تا 1 MHz با بیشتر از 90 دسی بل کاهش دهند. بخشهای آنالوگ مودم های ADSL مجبورند سخت کار کنند تا بتوانند محدوده های دینامیکی بزرگ، کانالهای جداگانه و نگهداری شکل نویزها در سطح پائین را فراهم کنند. در بیرون، ADSL ساده به نظر می رسد – داده های شفاف سنکرون را در سرعتهای متفاوت بالاتر از خطوط تلفن حمل می کند. در درون جایی که همه ترانزیستورها کار می کنند، یک معجزه در تکنولوژی مودمهاست.

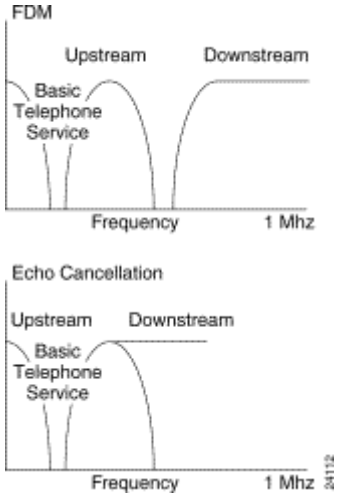
Figure 15-3: This diagram provides an overview of the devices that make up the ADSL transceiver-network end of the topology.



فرستنده / گیرنده شبکه ADSL

برای ایجاد کانالهای چندتایی، مودم های ADSL پهنای باند قابل دسترس یک خط تلفن را به یکی از این دو روش تقسیم می کند: FDM یا Echo Cancellation که در شکل بعد نمایش داده شده است. FDM یک باند را برای داده های UpStream و بقیه باندها را برای داده های DownStream تخصیص داده است. مسیر DownStream توسط Time-Division Multilexing به یک یا بیشتر کانال سرعت بالا و یک یا بیشتر کانال سرعت پائین تقسیم شده است.

Echo Cancellation باند UpStream را برای همپوشی DownStream اختصاص می دهد و آن دو را به وسیله وسایل Local Echo Cancellation جدا می کند که یک تکنیک خوب شناخته شده در مودمهای V.32 و V.34 می باشد. با این تکنیک، ADSL یک منطقه 4 کیلوهرتزی برای سرویس تلفنهای اصلی در انتهای باند DC جدا می کند.



یک مودم ADSL مجموع جریان داده های ایجاد شده به وسیله مالتی پلکس کردن کانالهای DownStream ، کانالهای دوطرفه و کانالهای نگهداری شده با هم در بلاکها و پیوند یک کد تصحیح خطا در هر بلاک را سازماندهی می کند. سپس دریافت کننده خطاهایی را که در طول انتقال با محدودیتهای ایجاد شده به وسیله کد و طول بلاک رخ داده اند را تصحیح می کند. واحدی که در اختیار User است، همچنین سوپربلاکها را به وسیله یک درمیان سازی داده های درون زیربلاکها ایجاد می کند. این به دریافت کننده اجازه می دهد که هر ترکیبی از خطاهایی را در درون گستره ای علمی از بیتها تصحیح کند که این روی انتقال سیگنالهای ویدئویی و داده تاثیر می گذارد.

استانداردها و شرکتهای ADSL :

گروه کاری T1E1.4 انجمن استانداردهای بین المللی امریکایی (ANSI) اخیراً استاندارد ADSL در سرعتهای بالاتر از 1.6 مگابیت در ثانیه را تصویب کرده است(T1.413). انجمن استانداردهای تکنیکی اروپا (ETSI) در ایجاد زمینه ای برای منعکس کردن احتیاجات اروپایی شرکت کرده است.

بازار ATM و هیئت Digital Audio-Visual (DAVIC) هردو ADSL را به عنوان یک پروتکل انتقال لایه فیزیکی برای رسانه های UTP به رسمیت شناخته اند.

بازار ADSL در دسامبر 1994 برای ترویج مفاهیم ADSL و سهولت بخشیدن معماران سیستم ADSL ، پروتکلها و رابطهایی برای کاربردهای اصلی ADSL شکل گرفت. این بازار بیش از 20 عضو داشت که سرویسهای فراهم کننده ها، تجهیزات سازندگان بین شش محل زیر تقسیم شده است که هر یک از آنها در یک گروه کاری جداگانه در کمیته ای تکنیکی به کارها رسیدگی می کنند:

- ATM Over ADSL (شامل حمل و نقل و روشهای End-to-end معماران).
- Packet Over Adsl (این گروه کاری اخیراً کارش کامل شده است).
- CPE/CO پیکربندیها و رابطها (Customer premises equipment/central office).
- عملیات.
- مدیریت شبکه.
- تست و عملکرد درونی.

وضعیت بازار ADSL :

مودم های ADSL در بیشتر از 30 شرکت تلفن با موفقیت امتحان شده اند و هزاران خط برای امتحان تکنولوژی های گوناگون آن در امریکای شمالی و اروپا نصب شده است. شرکتهای تلفن مختلف در صدند بازار ADSL را بیشتر برای دسترسی به داده ها استفاده کنند و همچنین شامل کاربردهای ویدئویی برای کاربران از قبیل فروشگاههای شخصی، بازیهای محاوره ای (interactive) و برنامه نویسی آموزشی می باشد. شرکتهای مربوطه تراشه های فرستنده / گیرنده ای را که درحال حاضر در بازار به صورت امتحانی وجود دارند، معرفی کرده اند. این تراشه ها اجزا ریزپردازنده های سیگنال دیجیتال برنامه پذیر و مدارات پیچیده علمی کاربردی (ASIC)را ترکیب می کنند. روند ادامه سرمایه گذاری به وسیله این شرکتهای مربوطه کارکرد را افزایش می دهد و باعث کاهش تعداد تراشه ها، مصرف نیرو و قیمت می گردد.

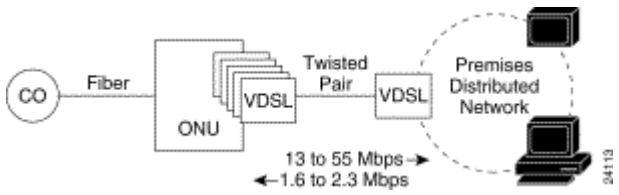
VDSL(Very High Bit Rate Digital Subscriber Line) :

VDSL به تدریج شرکتهای تلفن را در سراسر جهان که تصمیم دارند با استفاده از حلقه های Twisted pair نسل بعدی شبکه های باند پهن را بسازند، حذف می کند. کابلهای فیبری هیبرید HFC یک وسیله بسیار خوب برای پیام رسانی دیجیتال و آنالوگ می باشد که می تواند در یک زمان صدای تلفنی (آنالوگ)را به همراه تصاویر محاوره ای ارتباطات داده ای با سرعت بالا حمل کند.هزینه فیبر در خانه ها(FTTH)هنوز خیلی گران است.

یک حالت جالب دیگر که به زودی قابل استفاده خواهد بود،ترکیب کابلهای فیبری تغذیه کننده شبکه های نوری وارتباطات مسی موجود یا جدید می باشد.این تکنولوژی که اغلب FTTNیا Fiber To The Neighborhood نامیده می شود،شامل FTTC یا Fiber To The Curb با بردهای کوتاه وFTTB یا Fiber To The Basement می باشد که ساختمانهای بلند را سرویس می دهند.

یکی از تکنولوژی های فعال برای FTTN ، VDSL است. به طور ساده ، VDSL ، داده های با سرعت بالا را خیلی سریع از کابلهای مسی Twisted pair با یک محدوده سرعتی که وابسته به طول سیم است، انتقال می دهد. بیشترین سرعت DownStream که در جدول بعدی نشان داده شده است، بین 51 تا 55 مگابیت در ثانیه برای مسافتهای تا 300 متر می باشد. سرعتهای DownStream کمی پائینتر حوالی 13 مگابیت در ثانیه که در مسافتهای 1500 متر عمل می کنند، بسیار رایج هستند. سرعتهای UpStream در مدلهای جدید نامتقارن خواهند بود .مانند ADSL که در سرعتهای از 1/6 تا 2/3 مگابیت در ثانیه می باشند. هر دو کانال داده بطور جداگانه در فرکانسی از باندهای استفاده شده برای سرویسهای پیشرفته شبکه های دیجیتالی (ISDN) خواهند بود که فعالیت فراهم کننده های سرویس فراگنجایش VDSL ، روی همین سرویس های موجود است. در حال حاضر، دو کانال سرعت بالا به طور جداگانه در فرکانسها وجود دارند. در پی ناشی شدن نیازها برای کانالهای UpStream سرعتهای بالاتر یا سرعتهای متقارن سیستمهای VDSL ممکن است به استفاده از Echo Cancellation یا حذف پژواک (برگشت) روی آورند.

Figure : This diagram provides an overview of the devices in a VDSL network.



توانائیهای VDSL:

اگرچه VDSL هنوز به درجه تعریف شده برای ADSL نرسیده است، اما به اندازه ای پیشرفت کرده است که ما بتوانیم در مورد ویژگیهای به دست آمدنی آن بحث کنیم که ابتدا با سرعت انتقال داده و محدوده شروع می کنیم. سرعتهای DownStream از شبکه های نوری سنکرون یا SONET و SDH یا سلسله مراتب دیجیتالی سنکرون سرچشمه گرفته اند که سرعت متعارفی حدود 155/52 مگابیت در ثانیه دارند. از قبیل 51.84 Mbps، 29.92 Mbps ، 12.96 Mbps . هر سرعت یک محدوده مسافتی خاص خود را دارد که در جدول زیر به طور خلاصه نشان داده شده است:

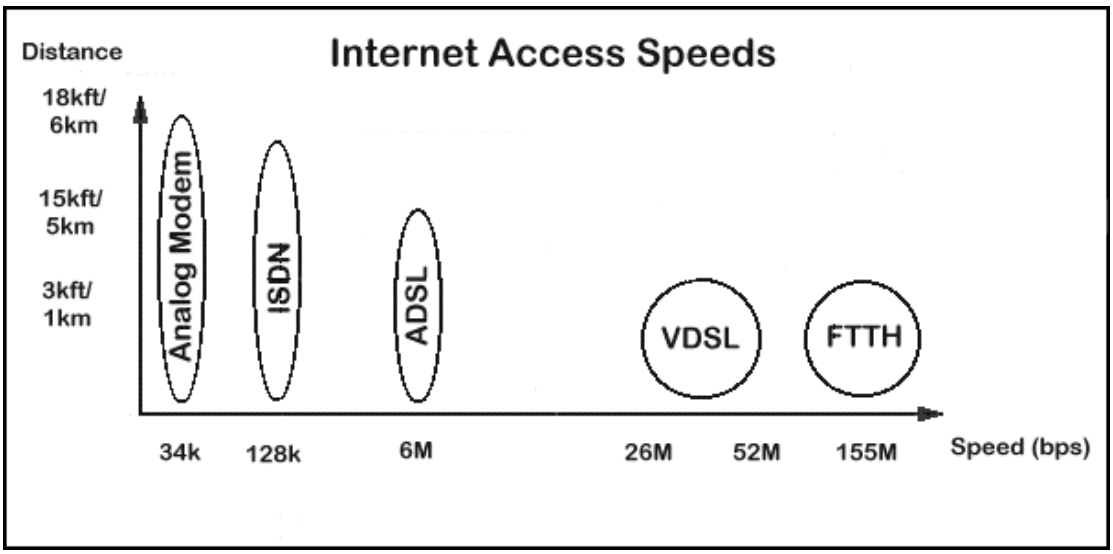
Target Range (Mbps)	Distance (feet)	Distance (meters)
12.96-13.8	4500	1500
25.92-27.6	3000	1000
51.84-55.2	1000	300

سرعتهای UpStream در سه محدوده عمومی زیر مورد بحث قرار می گیرند:

- 1.6 –2.3 Mbps
- 19.2 Mbps
- برابر با DownStream

نسخه های جدید VDSL همیشه به طور مطمئن با سرعتهای نامتقارن آهسته تر ترکیب خواهند شد. UpStream سریعتر و پیکربندی های متقارن ممکن است که فقط برای خطوط خیلی کوتاه امکان پذیر باشند. VDSL نیز مشابه ADSL باید ویدئو های فشرده شده را انتقال دهد که یک سیگنال بلادرنگ، از طرحواره ای که در ارتباطات داده ای وجود دارد استفاده کرده و سیگنال را دوباره ارسال می کند. برای رسیدن خطا به سرعتهای مناسب در این ویدئو های فشرده شده، VDSL تصحیح خطا در جلو (بدون فرستادن درخواست مجدد از طرف گیرنده) را با یک درمیان سازی کافی برای تصحیح همه خطاهای ایجاد شده به وسیله نویزهای ضربه ای در مدت زمان معین، ترکیب خواهد کرد. یک درمیان سازی معرف تاخیر به اندازه 40 برابر ماکزیمم طول ضربه قابل تصحیح است.

در اینجا بررسی ADSLو VDSL به عنوان پرکاربردترین نوع از انواع DSL به پایان می رسد. حال با مقایسه تکنولوژی های گوناگون دسترسی به اینترنت می خواهیم به جایگاه واقعی DSL و انواع آن دست پیدا کنیم.



آینده DSL :

ADSL در حال رقابت با تکنولوژی هایی همانند مودم کابلی و اینترنت ماهواره ای می باشد. بر طبق تحقیقات شرکت IDC تا سال 2003 تعداد مشترکین خانگی استفاده کننده از مودم کابلی فراتر از 8980000 خواهد بود درحالیکه DSL در سال 2003 بیش از 9300000 مشترک خانگی دارد. اخیراً ADSL در حداکثر سرعت 1/5 مگابیت در ثانیه محدود می شود. تکنولوژی فعلی می تواند حداکثر نرخ تئوری 7 مگابیت بر ثانیه را تامین نماید.

وضعیت DSL در ایران:

در سالهای اخیر کشور کره جنوبی بین کلیه کشورهای دیگر رشد بسیار زیادی در مصرف اینترنت داشته و با داشتن تنها 55 میلیون نفر جمعیت، بیشترین مصرف کننده DSL در جهان می باشد. به همین دلیل در سالهای اخیر سئول به بهشت DSL مبدل شده است و شرکتهای فعال در زمینه شبکه در کره پیشرو این تکنولوژی در جهان می باشند.

شرکت لایزر (www.laser-networks.com) اولین شرکت ایرانی است که با داشتن نمایندگی انحصاری شرکت هیوندای کره قابلیت نصب و پشتیبانی انواع کاملی از تکنولوژی های xDSL را دارا می باشد. شرکت هیوندای در حال حاضر بزرگترین تولید کننده تجهیزات xDSL در کره جنوبی بوده و تا کنون موفق به صادرات انواع این تکنولوژی به کشورهای صنعتی اروپا و ژاپن گردیده است.

نتیجه گیری:

در حال حاضر در کشورهای پیشرفته تکنولوژی DSLپیشرفت چشمگیری داشته استDSL یکی از بهترین سرویسهای ارتباط با شبکه می باشد که حداقل تا 50 برابر مودم های معمولی سرعت دارد و نیازی به تجهیزات پیشرفته و کابل کشی جدید ندارد و می تواند روی خطوط تلفن معمولی داده های خود را با سرعت بسیار بالا ارسال کند. در نتیجه به عنوان یکی از بهترین سرویس های دسترسی به اینترنت شناخته شده است.

منابع:

http://www.howstuffworks.com
http://www.dslreports.com
http://www.everythingdsl.com

ضمائم:

How DSL Works

When you connect to the Internet, you might connect through a regular modem, through a local-area network connection in your office, through a cable modem or through a **digital subscriber line** (DSL) connection. DSL is a very high-speed connection that uses the same wires as a regular telephone line.
Here are some advantages of DSL:

- You can leave your Internet connection open and still use the phone line for voice calls.
- The speed is much higher than a regular modem (1.5 Mbps vs. 56 Kbps)
- DSL doesn't necessarily require new wiring; it can use the phone line you already have.
- The company that offers DSL will usually provide the modem as part of the installation.

But there are disadvantages:

- A DSL connection works better when you are closer to the provider's central office.
- The connection is faster for receiving data than it is for sending data over the Internet.
- The service is not available everywhere.

Skinny Voice, Broad Band

If you have read How Telephones Work, then you know that a standard telephone installation in the United States consists of a pair of copper wires that the phone company installs in your home. The copper wires have lots of room for carrying more

than your phone conversations -- they are capable of handling a much greater **bandwidth**, or range of frequencies, than that demanded for voice. DSL exploits this "extra capacity" to carry information on the wire without disturbing the line's ability to carry conversations. The entire plan is based on matching particular frequencies to specific tasks.

To understand DSL, you first need to know a couple of things about a normal telephone line -- the kind that telephone professionals call **POTS**, for Plain Old Telephone Service. One of the ways that POTS makes the most of the telephone company's wires and equipment is by limiting the frequencies that the switches, telephones and other equipment will carry. Human voices, speaking in normal conversational tones, can be carried in a frequency range of 0 to 3,400 Hertz (cycles per second -- see How Telephones Work for a great demonstration of this). This range of frequencies is tiny. For example, compare this to the range of most stereo speakers, which cover from roughly 20 Hertz to 20,000 Hertz. And the wires themselves have the potential to handle frequencies up to several million Hertz in most cases. The use of such a small portion of the wire's total bandwidth is historical -- remember that the telephone system has been in place, using a pair of copper wires to each home, for about a century. By limiting the frequencies carried over the lines, the telephone system can pack lots of wires into a very small space without worrying about interference between lines. Modern equipment that sends digital rather than analog data can safely use much more of the telephone line's capacity. DSL does just that.

Most homes and small business users are connected to an **asymmetric DSL** (ADSL) line. ADSL divides up the available frequencies in a line on the assumption that most Internet users look at, or download, much more information than they send, or upload. Under this assumption, if the connection speed from the Internet to the user is three to four times faster than the connection from the user back to the Internet, then the user will see the most benefit (most of the time).

Voice and Data

Precisely how much benefit you see will greatly depend on how far you are from the central office of the company providing the ADSL service. ADSL is a **distance-sensitive technology**: As the connection's length increases, the signal quality decreases and the connection speed goes down. The limit for ADSL service is **18,000 feet** (5,460 meters), though for speed and quality of service reasons many ADSL providers place a lower limit on the distances for the service. At the extremes of the distance limits, ADSL customers may see speeds far below the promised maximums, while customers nearer the central office have faster connections and may see extremely high speeds in the future. ADSL technology can provide maximum downstream (Internet to customer) speeds of up to 8 megabits per second (Mbps) at a distance of about 6,000 feet (1,820 meters), and upstream speeds of up to 640 kilobits per second (Kbps). In practice, the best speeds widely offered today are 1.5 Mbps downstream, with upstream speeds varying between 64 and 640 Kbps.

Other Types of DSL

Very high bit-rate DSL (VDSL) - This is a fast connection, but works only over a short distance.

Symmetric DSL (SDSL) - This connection, used mainly by small businesses, doesn't allow you to use the phone at the same time, but the speed of receiving and sending data is the same.

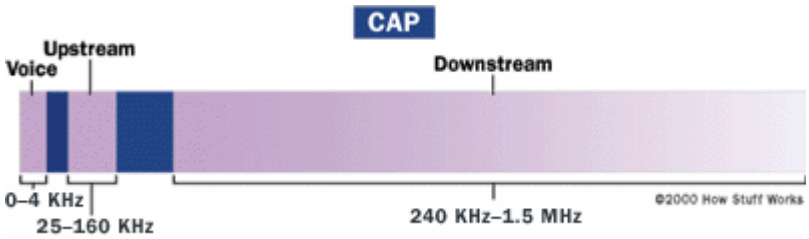
Rate-adaptive DSL (RADSL) - This is a variation of ADSL, but the modem can adjust the speed of the connection depending on the length and quality of the line.

You might wonder, if distance is a limitation for DSL, why it's not also a limitation for voice telephone calls. The answer lies in small amplifiers called **loading coils** that the telephone company uses to boost voice signals. Unfortunately, these loading coils are incompatible with ADSL signals, so a voice coil in the loop between your telephone and the telephone company's central office will disqualify you from receiving ADSL. Other factors that might disqualify you from receiving ADSL include:

- **Bridge taps** - These are extensions, between you and the central office, that extend service to other customers. While you wouldn't notice these bridge taps in normal phone service, they may take the total length of the circuit beyond the distance limits of the service provider.
- **Fiber-optic cables** - ADSL signals can't pass through the conversion from analog to digital and back to analog that occurs if a portion of your telephone circuit comes through fiber-optic cables.
- **Distance** - Even if you know where your central office is (don't be surprised if you don't -- the telephone companies don't advertise their locations), looking at a map is no indication of the distance a signal must travel between your house and the office.

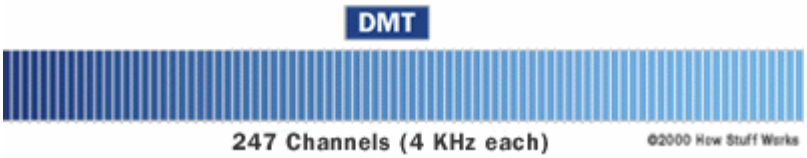
Splitting the Signal

There are two competing and incompatible standards for ADSL. The official ANSI standard for ADSL is a system called **discrete multitone**, or DMT. According to equipment manufacturers, most of the ADSL equipment installed today uses DMT.

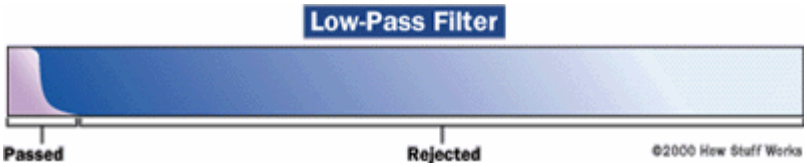


An earlier and more easily implemented standard was the **carrierless amplitude/phase** (CAP) system, which was used on many of the early installations of ADSL.

CAP operates by dividing the signals on the telephone line into three distinct bands: Voice conversations are carried in the 0 to 4 KHz (kilohertz) band, as they are in all POTS circuits. The upstream channel (from the user back to the server) is carried in a band between 25 and 160 KHz. The downstream channel (from the server to the user) begins at 240 KHz and goes up to a point that varies depending on a number of conditions (line length, line noise, number of users in a particular telephone company switch) but has a maximum of about 1.5 MHz (megahertz). This system, with the three channels widely separated, minimizes the possibility of interference between the channels on one line, or between the signals on different lines.



DMT also divides signals into separate channels, but doesn't use two fairly broad channels for upstream and downstream data. Instead, DMT divides the data into 247 separate channels, each 4 KHz wide. One way to think about it is to imagine that the phone company divides your copper line into 247 different 4-KHz lines and then attaches a modem to each one. You get the equivalent of 247 modems connected to your computer at once! Each channel is monitored and, if the quality is too impaired, the signal is shifted to another channel. This system constantly shifts signals between different channels, searching for the best channels for transmission and reception. In

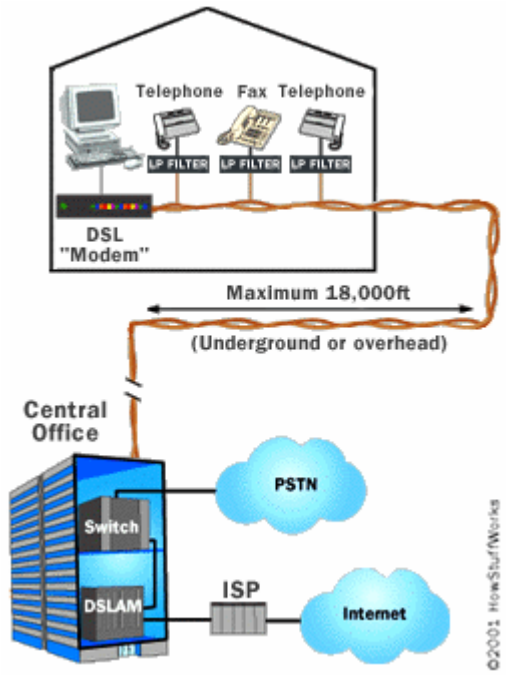


addition, some of the lower channels (those starting at about 8 KHz), are used as bidirectional channels, for upstream and downstream information. Monitoring and sorting out the information on the bidirectional channels, and keeping up with the quality of all 247 channels, makes DMT more complex to implement than CAP, but gives it ore flexibility on lines of differing quality.

CAP and DMT are similar in one way that you can see as a DSL user. If you have ADSL installed, you were almost certainly given small filters to attach to the outlets that don't provide the signal to your ADSL modem. These filters are **low-pass filters** -- simple filters that block all signals above a certain frequency. Since all voice conversations take place below 4 KHz, the low-pass (LP) filters are built to block everything above 4 KHz, preventing the data signals from interfering with standard telephone calls.

DSL Equipment

ADSL uses two pieces of equipment, one on the customer end and one at the Internet service provider, telephone company or other provider of DSL services. At the customer's location there is a DSL **transceiver**, which may also provide other



services. The DSL service provider has a **DSL Access Multiplexer** (DSLAM) to receive customer connections.

DSL Transceiver

Most residential customers call their DSL transceiver a "DSL modem." The engineers at the telephone company or ISP call it an **ATU-R**. Regardless of what it's called, it's the point where data from the user's computer or network is connected to the DSL line. The transceiver can connect to a customer's equipment in several ways, though most residential installation uses USB or 10 base-T Ethernet connections. While most of the ADSL transceivers sold by ISPs and telephone companies are simply transceivers, the devices used by businesses may combine network routers, network switches or other networking equipment in the same platform.

DSLAM

The DSLAM at the access provider is the equipment that really allows DSL to happen. A DSLAM takes connections from many customers and aggregates them onto a single, high-capacity connection to the Internet. DSLAMs are generally flexible and able to support multiple types of DSL in a single central office, and different varieties of protocol and modulation -- both CAP and DMT, for example -- in the same type of DSL. In addition, the DSLAM may provide additional functions including routing or dynamic IP address assignment for the customers.

The DSLAM provides one of the main differences between user service through ADSL and through cable modems. Because cable-modem users generally share a network loop that runs through a neighborhood, adding users means lowering performance in many instances. ADSL provides a dedicated connection from each user back to the DSLAM, meaning that users won't see a performance decrease as new users are added -- until the total number of users begins to saturate the single, high-speed connection to the Internet. At that point, an upgrade by the service provider can provide additional performance for all the users connected to the DSLAM.

DSL Future

ADSL is competing with technologies such as cable-modem access and satellite Internet access for high-speed connections from consumers to the Internet. According to IDC, a market-analysis firm based in Framingham, MA, approximately 330,000 households in the United States were connected to the Internet via DSL in 1999, compared to 1,350,000 households with cable modems. By 2003, IDC estimates that the number of households with cable modems will have risen to 8,980,000, while DSL will have raced into the broadband lead with 9,300,000 households.

Currently, ADSL is limited (by U.S. Federal Communications Commission regulations) to a maximum of 1.5 megabits per second. Current technology can provide a theoretical maximum of up to 7 megabits per second, and research promises even greater performance in the future with protocols like G.Lite and VDSL.

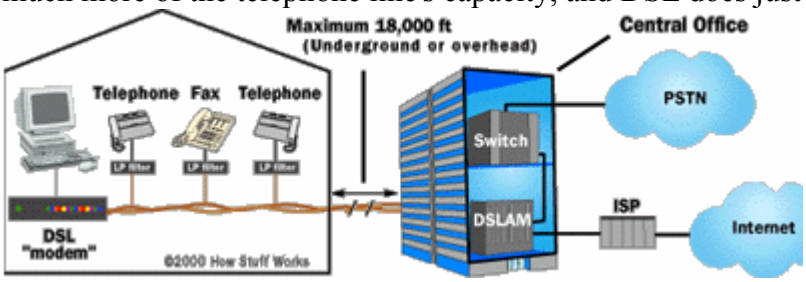
For information on ADSL rates and availability in the United States, go to Broadband Reports. This site can provide information on ADSL service companies in your area, the rates they charge, and customer satisfaction, as well as estimating how far you are from the nearest central office.

How VDSL Works

DSL Basics

A standard telephone installation in the United States consists of a pair of copper wires that the phone company installs in your home. A pair of copper wires has plenty of bandwidth for carrying data in addition to voice conversations. Voice signals use only a fraction of the available capacity on the wires. DSL exploits this remaining capacity to carry information on the wire without disturbing the line's ability to carry conversations.

Standard phone service limits the frequencies that the switches, telephones and other equipment can carry. Human voices, speaking in normal conversational tones, can be carried in a frequency range of 400 to 3,400 Hertz (cycles per second). In most cases, the wires themselves have the potential to handle frequencies of up to several-million Hertz. Modern equipment that sends digital (rather than analog) data can safely use much more of the telephone line's capacity, and DSL does just that.



How an ADSL network is laid out

ADSL uses two pieces of equipment: one on the customer end and one at the provider end:

- **Transceiver** - At the customer's location, there is a DSL transceiver, which may also provide other services.
- **DSL access multiplexer** (DSLAM) - The DSL service provider has a DSLAM to receive customer connections.

Most residential customers call their DSL transceiver a "DSL modem." The engineers at the telephone company or ISP call it an **ATU-R**, which stands for **ADSL Transceiver Unit - Remote**. Regardless of what it's called, the transceiver is the point where data from the user's computer or network is connected to the DSL line. The transceiver can connect to a customer's equipment in several ways, though most residential installation uses Universal Serial Bus (USB) or 10BaseT Ethernet connections. Most of the ADSL transceivers sold by ISPs and telephone companies are simply transceivers, but the devices used by businesses may combine network routers, network switches or other networking equipment in the same box.

The DSLAM at the access provider is the equipment that really makes DSL happen. A DSLAM takes connections from many customers and aggregates them onto a single, high-capacity connection to the Internet. DSLAMs are generally flexible and able to support multiple types of DSL, as well as provide additional functions such as routing and dynamic IP address assignment for customers. For more information about ADSL, check out How DSL Works.

DSL is a distance-sensitive technology: As the connection's length increases, the signal quality and connection speed decrease. ADSL service has a maximum distance of 18,000 feet (5,460 m) between the DSL modem and the DSLAM, though for speed and quality of service reasons, many ADSL providers place an even lower limit on the

distance. At the upper extreme of the distance limit, ADSL customers may experience speeds far below the promised maximums, whereas customers close the central office or DSL termination point may experience speeds approaching the maximum, and even beyond the current limit in the future.
You might wonder why, if distance is a limitation for DSL, it's not a limitation for voice telephone calls, too. The answer lies in small amplifiers, called loading coils, that the telephone company uses to boost voice signals. These loading coils are incompatible with DSL signals because the amplifier disrupts the integrity of the data. This means that if there is a voice coil in the loop between your telephone and the telephone company's central office, you cannot receive DSL service. Several other factors might disqualify you from receiving ADSL:

- **Bridge taps** - These are extensions, between you and the central office, that service other customers.
- **Fiber-optic cables** - ADSL signals can't pass through the conversion from analog to digital to analog that occurs if a portion of your telephone circuit comes through fiber-optic cables.
- **Distance** - Even if you know where your central office is (don't be surprised if you don't -- the telephone companies don't advertise their locations), looking at a map is no indication of the distance a signal must travel between your house and the office. The wire may follow a very convoluted path between the two points.

Fiber-optic cables, one of the major disrupting factors of ADSL, is actually what enables VDSL technology. In the next section, you'll find out why.

VDSL Speed

VDSL operates over the copper wires in your phone line in much the same way that ADSL does, but there are a couple of distinctions. VDSL can achieve incredible speeds, as high as 52 Mbps **downstream** (to your home) and 16 Mbps **upstream** (from your home). That is much faster than ADSL, which provides up to 8 Mbps downstream and 800 Kbps (kilobits per second) upstream. But VDSL's amazing performance comes at a price: It can only operate over the copper line for a short distance, about 4,000 feet (1,200 m).
The key to VDSL is that the telephone companies are replacing many of their main feeds with fiber-optic cable. In fact, many phone companies are planning **Fiber to the Curb** (FTTC), which means that they will replace all existing copper lines right up to the point where your phone line branches off at your house. At the least, most companies expect to implement **Fiber to the Neighborhood (FTTN)**. Instead of installing fiber-optic cable along each street, FTTN has fiber going to the main junction box for a particular neighborhood.
By placing a VDSL transceiver in your home and a **VDSL gateway** in the junction box, the distance limitation is neatly overcome. The gateway takes care of the analog-digital-analog conversion problem that disables ADSL over fiber-optic lines. It converts the data received from the transceiver into pulses of light that can be transmitted over the fiber-optic system to the central office, where the data is routed to the appropriate network to reach its final destination. When data is sent back to your computer, the VDSL gateway converts the signal from the fiber-optic cable and sends it to the transceiver. All of this happens millions of times each second!
ADSL and VDSL are just two representatives of the DSL spectrum. On the next page, you'll find a chart that lists the variations and how they compare to each other.

Comparing DSL Types

There are several variations on DSL technology. In fact, there are so many that you will often see the term **xDSL**, where x is a variable, when the discussion is about DSL in general.

- **Asymmetric DSL** (ADSL) - It is called "asymmetric" because the download speed is greater than the upload speed. ADSL works this way because most Internet users look at, or download, much more information than they send, or upload.
- **High bit-rate DSL** (HDSL) - Providing transfer rates comparable to a T1 line (about 1.5 Mbps), HDSL receives and sends data at the same speed, but it requires two lines that are separate from your normal phone line.
- **ISDN DSL** (ISDL) - Geared primarily toward existing users of **Integrated Services Digital Network** (ISDN), ISDL is slower than most other forms of DSL, operating at fixed rate of 144 Kbps in both directions. The advantage for ISDN customers is that they can use their existing equipment, but the actual speed gain is typically only 16 Kbps (ISDN runs at 128 Kbps).
- **Multirate Symmetric DSL** (MSDSL) - This is Symmetric DSL that is capable of more than one transfer rate. The transfer rate is set by the service provider, typically based on the service (price) level.
- **Rate Adaptive DSL** (RADSL) - This is a popular variation of ADSL that allows the modem to adjust the speed of the connection depending on the length and quality of the line.
- **Symmetric DSL** (SDSL) - Like HDSL, this version receives and sends data at the same speed. While SDSL also requires a separate line from your phone, it uses only a single line instead of the two used by HDSL.
- **Very high bit-rate DSL** (VDSL) - An extremely fast connection, VDSL is asymmetric, but only works over a short distance using standard copper phone wiring.
- **Voice-over DSL** (VoDSL) - A type of IP telephony, VoDSL allows multiple phone lines to be combined into a single phone line that also includes data-transmission capabilities.

The chart below provides a comparison of the various DSL technologies:

DSL Type	Max. Send Speed	Max. Receive Speed	Max. Distance	Lines Required	Phone Support
ADSL	800 Kbps	8 Mbps	18,000 ft (5,500 m)	1	Yes
HDSL	1.54 Mbps	1.54 Mbps	12,000 ft (3,650 m)	2	No
IDSL	144 Kbps	144 Kbps	35,000 ft (10,700 m)	1	No
MSDSL	2 Mbps	2 Mbps	29,000 ft (8,800 m)	1	No
RADSL	1 Mbps	7 Mbps	18,000 ft (5,500 m)	1	Yes
SDSL	2.3 Mbps	2.3 Mbps	22,000 ft (6,700 m)	1	No
VDSL	16 Mbps	52 Mbps	4,000 ft	1	Yes

| (1,200 m)

As you can see, VDSL provides a significant performance boost over any other version. But for VDSL to become widely available, it must be standardized. In the next section, we'll talk about two potential VDSL standards.

Competing VDSL Standards

There are two competing consortiums that are pushing to standardize VDSL. The problem is that their proposed standards use carrier technologies that are incompatible with one another. The VDSL Alliance, a partnership between Alcatel, Texas Instruments and others, supports VDSL using a carrier system called **Discrete MultiTone** (DMT). According to equipment manufacturers, most of the ADSL equipment installed today uses DMT.

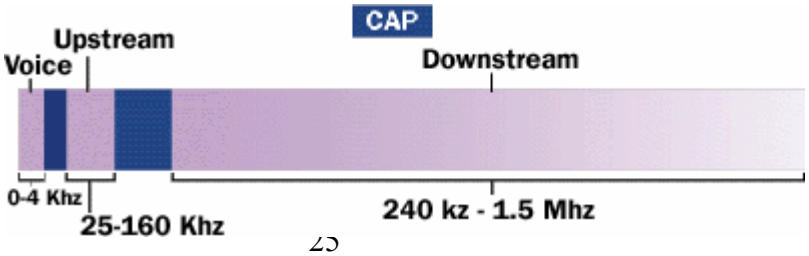
DMT divides signals into 247 separate channels, each 4 kilohertz (KHz, or 1,000 cycles per second) wide. One way to think about it is to imagine that the phone company divides your copper line into 247 different 4-KHz lines and attaches a modem to each one. You get the equivalent of 247 modems connected to your computer at once! Each channel is monitored and, if the quality is too impaired, the signal is shifted to another channel. This system constantly shifts signals, searching for the best channels for transmission and reception. In addition, some of the lower

channels (those starting at about 8 KHz) are used as bidirectional channels, for both upstream and downstream information. Monitoring and sorting out the information on the bidirectional channels, and keeping up with the quality of all 247 channels, makes DMT more complex to implement than other carrier technologies, but also gives it more flexibility on lines of differing quality.

Discrete MultiTone divides the available carrier band into 247 distinct 4-KHz channels.

The other VDSL group is called the VDSL Coalition. Led by Lucent and Broadcom, the Coalition proposes a carrier system that uses a pair of technologies called **Quadrature Amplitude Modulation** (QAM) and **Carrierless Amplitude Phase** (CAP).

CAP operates by dividing the signals on the telephone line into three distinct bands: Voice conversations are carried in the zero- to 4-KHz band, which is in all standard phone circuits. The upstream channel (from the user to the server) is carried in a band between 25 and 160 KHz. The downstream channel (from the server to the user) begins at 240 KHz and goes up to a point that varies with such conditions as line length, line noise and the number of users in the switch, but it has a maximum of



about 1.5 megahertz (MHz). This system, with the three channels widely separated, minimizes the possibility of interference between the channels on one line, or between the signals on different lines.

Carrier Amplitude Modulation divides the line into three distinct bands, with space between each band.

QAM is a modulation technique that effectively triples or quadruples the information sent over a line, depending on the version used. It accomplishes this by**modulating** (varying the shape of the carrier wave) and **phase shifting** (varying the angle of the carrier wave). An unmodulated signal provides for only two states, 1 or 0, which means that it can send a single bit of information per cycle. By sending a second wave that is shifted 90 degrees out of phase with the first one, and then modulating each wave so that there are two points per wave, you get eight states. This allows you to send 3 bits per cycle instead of just 1.

Why 3 bits? Remember that you are sending binary information. Two states equal a single bit ($2^1 = 2$). Four states are equivalent 2 bits ($2^2 = 4$). Eight states equal 3 bits ($2^3 = 8$).

By adding four more waves, shifted 15 degrees out of phase, you get 16 states and can send 4 bits per cycle ($2^4 = 16$). Adding another bit increases the number of phase shifts geometrically. To go beyond 4 bits per cycle becomes increasingly difficult because the number of necessary states doubles for each bit: $2^5 = 32$, $2^6 = 64$ and so on. This page provides a detailed look at QAM, and this one has a great QAM animation.

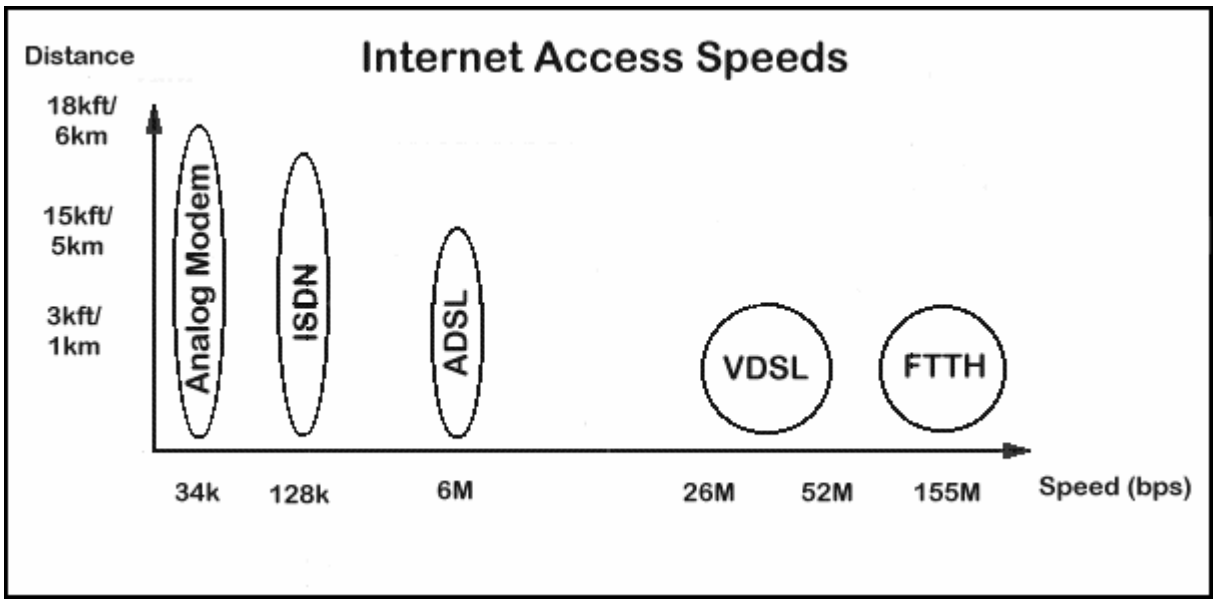
There is a possibility that VDSL will encompass both standards, with providers selecting which technology they will implement across their system.

For more information on VDSL and related topics, check out the links on the next page.

ADSL Technology Comparisons

As the years, or, more likely months pass, there will be a multitude of services striving to use bandwidth on the internet.

Take a look at the graph below.



We're all familiar with analogue modems. They've been around in one flavour or another for many years.
Dial-up or leased line, everyone knows that even 56kbps(even if your phone line and ISP can can actually achieve it) is not going to be enough.
Many new sites contain multimedia performances which are just too painful to wait for if you have to download them at 56kbps, or even worse....33.6kbps!
So, what do we do?
We move to ISDN?
Wrong!
ISDN offers in relative terms a small step in performance compared to emerging XDSL technologies.
The only thing ISDN offers that faster XDSL technologies doesn't is the ability to "dial" other ISDN terminal adapters across the PSDN.
Comparing ISDN to even a flawed technology like HFC (cable modems) is like comparing a moped with a superbike.
Okay so what shall we do?
Urge your network operator to install optical fibre to your home as soon as possible.
The answer you will receive is that fibre is too expensive to deploy on a country wide basis.
Network operators have too much investment tied up in the copper loops which already join their exchanges to our homes and offices to give it up easily.
XDSL technologies give the network operators the means of extending the life of their investment by many years.
Their problem is that if they give us a quantum leap in performance now, it will be a very short time before we ask for the next step.
However, increasing use of the internet for all manner of tasks mean that we should demand XDSL now, because, with the best will in the world (take ISDN as an example) deployment will take at least two years.
What do you think your network access performance will be like in six months, let alone two years?

Table of Contents

Digital Subscriber Line

Background
Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)
ADSL Capabilities
ADSL Technology
ADSL Standards and Associations
ADSL Market Status
Very-High-Data-Rate Digital Subscriber Line (VDSL)
VDSL Projected Capabilities
VDSL Technology
Line Code Candidates
Channel Separation
Forward Error Control
Upstream Multiplexing
VDSL Issues
Standards Status
VDSL's Relationship with ADSL

Digital Subscriber Line

Background

*Digital Subscriber Line (*DSL*)* technology is a modem technology that uses existing twisted-pair telephone lines to transport high-bandwidth data, such as multimedia and video, to service subscribers. The term *xDSL* covers a number of similar yet competing forms of DSL, including ADSL, SDSL, HDSL, RADSL, and VDSL. xDSL is drawing significant attention from implementers and service providers because it promises to deliver high-bandwidth data rates to dispersed locations with relatively small changes to the existing telco infrastructure. xDSL services are dedicated, point-to-point, public network access over twisted-pair copper wire on the local loop ("last mile") between a network service provider (NSP's) central office and the customer site, or on local loops created either intra-building or intra campus. Currently the primary focus in xDSL is the development and deployment of ADSL and VDSL technologies and architectures. This chapter covers the characteristics and operations of ADSL and VDSL.

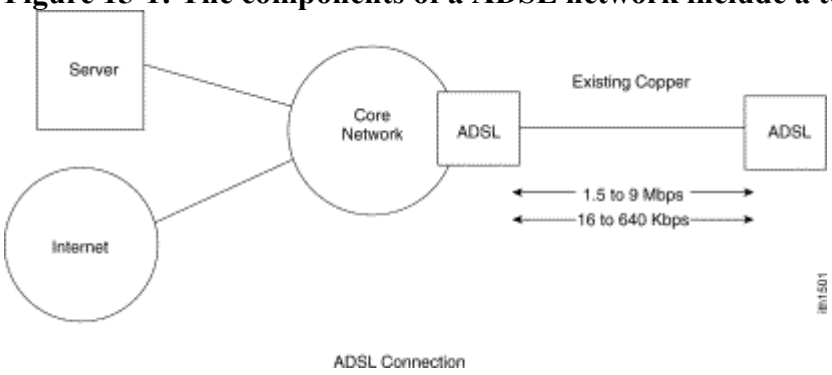
Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL)

ADSL technology is asymmetric. It allows more bandwidth downstream---from an NSP's central office to the customer site---than upstream from the subscriber to the central office. This asymmetry, combined with always-on access (which eliminates call setup), makes ADSL ideal for Internet/intranet surfing, video-on-demand, and

remote LAN access. Users of these applications typically download much more information than they send.

ADSL transmits more than 6 Mbps to a subscriber, and as much as 640 kbps more in both directions (shown in Figure 15-1). Such rates expand existing access capacity by a factor of 50 or more without new cabling. ADSL can literally transform the existing public information network from one limited to voice, text, and low-resolution graphics to a powerful, ubiquitous system capable of bringing multimedia, including full motion video, to every home this century.

Figure 15-1: The components of a ADSL network include a telco and a CPE.



ADSL Connection

ADSL will play a crucial role over the next decade or more as telephone companies enter new markets for delivering information in video and multimedia formats. New broadband cabling will take decades to reach all prospective subscribers. Success of these new services will depend on reaching as many subscribers as possible during the first few years. By bringing movies, television, video catalogs, remote CD-ROMs, corporate LANs, and the Internet into homes and small businesses, ADSL will make these markets viable and profitable for telephone companies and application suppliers alike.

ADSL Capabilities

An ADSL circuit connects an ADSL modem on each end of a twisted-pair telephone line, creating three information channels---a high-speed downstream channel, a medium-speed duplex channel, and a basic telephone service channel. The basic telephone service channel is split off from the digital modem by filters, thus guaranteeing uninterrupted basic telephone service, even if ADSL fails. The high-speed channel ranges from 1.5 to 6.1 Mbps, and duplex rates range from 16 to 640 kbps. Each channel can be submultiplexed to form multiple lower-rate channels.

ADSL modems provide data rates consistent with North American T1 1.544 Mbps and European E1 2.048 Mbps digital hierarchies (see Figure 15-2) and can be purchased with various speed ranges and capabilities. The minimum configuration provides 1.5 or 2.0 Mbps downstream and a 16 kbps duplex channel; others provide rates of 6.1 Mbps and 64 kbps duplex. Products with downstream rates up to 8 Mbps and duplex rates up to 640 kbps are available today ADSL modems accommodate Asynchronous Transfer Mode (ATM) transport with variable rates and compensation for ATM overhead, as well as IP protocols.

Downstream data rates depend on a number of factors, including the length of the copper line, its wire gauge, presence of bridged taps, and cross-coupled interference. Line attenuation increases with line length and frequency and decreases as wire diameter increases. Ignoring bridged taps ADSL performs as shown in Table 15-1.

Figure 15-2: This chart shows the speeds for downstream bearerand duplex bearer channels.

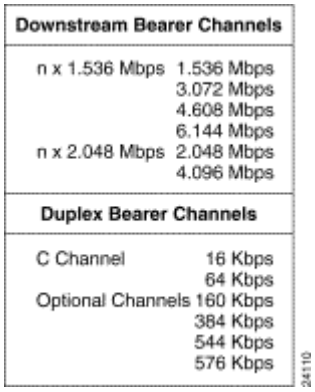


Table 15-1: Claimed ADSL Physical-Media Performance

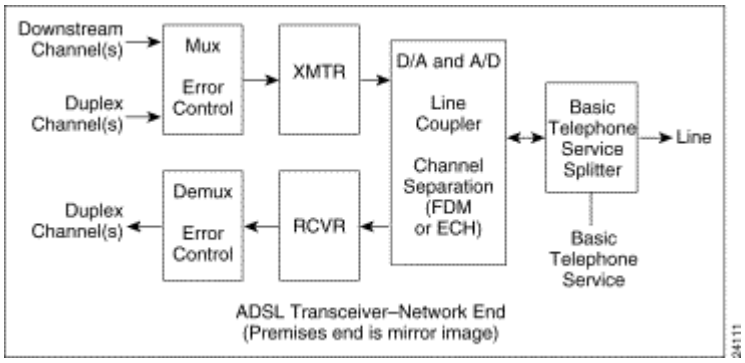
Data rate (Mbps)	Wire gauge (AWG)	Distance (feet)	Wire size (mm)	Distance (kilometers)
1.5 or 2	24	18,000	0.5	5.5
1.5 or 2	26	15,000	0.4	4.6
6.1	24	12,000	0.5	3.7
6.1	26	9,000	0.4	2.7

Although the measure varies from telco to telco, these capabilities can cover up to 95% of a loop plant, depending on the desired data rate. Customers beyond these distances can be reached with fiber-based digital loop carrier (DLC) systems. As these DLC systems become commercially available, telephone companies can offer virtually ubiquitous access in a relatively short time.

Many applications envisioned for ADSL involve digital compressed video. As a real-time signal, digital video cannot use link- or network level error control procedures commonly found in data communications systems. ADSL modems therefore incorporate forward error correction that dramatically reduces errors caused by impulse noise. Error correction on a symbol-by symbol basis also reduces errors caused by continuous noise coupled into a line.

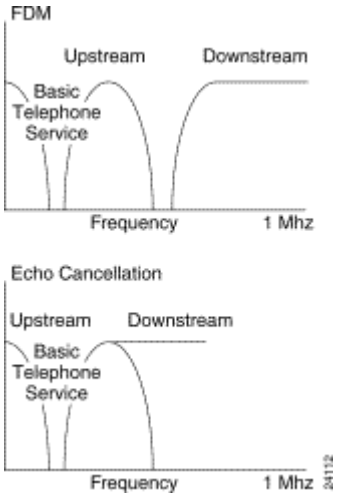
ADSL depends on advanced digital signal processing and creative algorithms to squeeze so much information through twisted-pair telephone lines. In addition, many advances have been required in transformers, analog filters, and analog/digital (A/D) converters. Long telephone lines may attenuate signals at 1 MHz (the outer edge of the band used by ADSL) by as much as 90 dB, forcing analog sections of ADSL modems to work very hard to realize large dynamic ranges, separate channels, and maintain low noise figures. On the outside, ADSL looks simple---transparent synchronous data pipes at various data rates over ordinary telephone lines. The inside, where all the transistors work, is a miracle of modern technology. Figure 15-3 displays the ADSL transceiver-network end.

Figure 15-3: This diagram provides an overview of the devices that make up the ADSL transceiver-network end of the topology.



To create multiple channels, ADSL modems divide the available bandwidth of a telephone line in one of two ways---frequency-division multiplexing (FDM) or echo cancellation---as shown in Figure 15-4. FDM assigns one band for upstream data and another band for downstream data. The downstream path is then divided by time-division multiplexing into one or more high-speed channels and one or more low-speed channels. The upstream path is also multiplexed into corresponding low-speed channels. Echo cancellation assigns the upstream band to overlap the downstream, and separates the two by means of local echo cancellation, a technique well known in V.32 and V.34 modems. With either technique, ADSL splits off a 4 kHz region for basic telephone service at the DC end of the band.

Figure 15-4: ADSL uses FDM and echo cancellation to divide the available bandwidth for services.



An ADSL modem organizes the aggregate data stream created by multiplexing downstream channels, duplex channels, and maintenance channels together into blocks, and attaches an error correction code to each block. The receiver then corrects errors that occur during transmission up to the limits implied by the code and the block length. The unit may, at the user's option, also create superblocks by interleaving data within subblocks; this allows the receiver to correct any combination of errors within a specific span of bits. This in turn allows for effective transmission of both data and video signals.

ADSL Standards and Associations

The American National Standards Institute (ANSI) Working Group T1E1.4 recently approved an ADSL standard at rates up to 6.1 Mbps (ANSI Standard T1.413). The European Technical Standards Institute (ETSI) contributed an annex to T1.413 to reflect European requirements. T1.413 currently embodies a single terminal interface at the premises end. Issue II, now under study by T1E1.4, will expand the standard to include a multiplexed interface at the premises end, protocols for configuration and network management, and other improvements.

The ATM Forum and the Digital Audio-Visual Council (DAVIC) have both recognized ADSL as a physical-layer transmission protocol for UTP media.

The ADSL Forum was formed in December 1994 to promote the ADSL concept and facilitate development of ADSL system architectures, protocols, and interfaces for major ADSL applications. The forum has more than 200 members, representing service providers, equipment manufacturers, and semiconductor companies throughout the world. At present, the Forum's formal technical work is divided into the following six areas, each of which is dealt with in a separate working group within the technical committee:

- ATM over ADSL (including transport and end-to-end architecture aspects)
- Packet over ADSL (this working group recently completed its work)
- CPE/CO (customer premises equipment/central office) configurations and interfaces

- Operations
- Network management
- Testing and interoperability

ADSL Market Status

ADSL modems have been tested successfully in more than 30 telephone companies, and thousands of lines have been installed in various technology trials in North America and Europe. Several telephone companies plan market trials using ADSL, principally for data access, but also including video applications for uses such as personal shopping, interactive games, and educational programming.

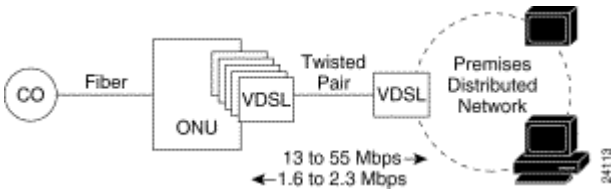
Semiconductor companies have introduced transceiver chipsets that are already being used in market trials. These chipsets combine off-the-shelf components, programmable digital signal processors, and custom ASICs (application-specific integrated circuits). Continued investment by these semiconductor companies has increased functionality and reduced chip count, power consumption, and cost, enabling mass deployment of ADSL-based services.

Very-High-Data-Rate Digital Subscriber Line (VDSL)

It is becoming increasingly clear that telephone companies around the world are making decisions to include existing twisted pair loops in their next-generation broadband access networks. Hybrid fiber coax (HFC), a shared-access medium well suited to analog and digital broadcast, comes up somewhat short when used to carry voice telephony, interactive video, and high-speed data communications at the same time. Fiber all the way to the home (FTTH) is still prohibitively expensive in a marketplace soon to be driven by competition rather than cost. An attractive alternative, soon to be commercially practical, is a combination of fiber cables feeding neighborhood optical network units (ONUs) and last-leg-premises connections by existing or new copper. This topology, which is often called fiber to the neighborhood (FTTN), encompasses fiber to the curb (FTTC) with short drops and fiber to the basement (FTTB), serving tall buildings with vertical drops.

One of the enabling technologies for FTTN is VDSL. In simple terms, VDSL transmits high-speed data over short reaches of twisted-pair copper telephone lines, with a range of speeds depending on actual line length. The maximum downstream rate under consideration is between 51 and 55 Mbps over lines up to 1000 feet (300 m) in length. Downstream speeds as low as 13 Mbps over lengths beyond 4000 feet (1500 m) are also common. Upstream rates in early models will be asymmetric, just like ADSL, at speeds from 1.6 to 2.3 Mbps. Both data channels will be separated in frequency from bands used for basic telephone service and Integrated Services Digital Network (ISDN), enabling service providers to overlay VDSL on existing services. At present the two high-speed channels are also separated in frequency. As needs arise for higher-speed upstream channels or symmetric rates, VDSL systems may need to use echo cancellation.

Figure 15-5: This diagram provides an overview of the devices in a VDSL network.



VDSL Projected Capabilities

Although VDSL has not achieved ADSL's degree of definition, it has advanced far enough that we can discuss realizable goals, beginning with data rate and range. Downstream rates derive from submultiples of the SONET (Synchronous Optical Network) and SDH (Synchronous Digital Hierarchy) canonical speed of 155.52 Mbps, namely 51.84 Mbps, 25.92 Mbps, and 12.96 Mbps. Each rate has a corresponding target range:

Target Range (Mbps)	Distance (feet)	Distance (meters)
12.96-13.8	4500	1500
25.92-27.6	3000	1000
51.84-55.2	1000	300

Upstream rates under discussion fall into three general ranges:

- 1.6-2.3 Mbps.
- 19.2 Mbps
- Equal to downstream

Early versions of VDSL will almost certainly incorporate the slower asymmetric rate. Higher upstream and symmetric configurations may only be possible for very short lines. Like ADSL, VDSL must transmit compressed video, a real-time signal unsuited to error retransmission schemes used in data communications. To achieve error rates compatible with those of compressed video, VDSL will have to incorporate forward error correction (FEC) with sufficient interleaving to correct all errors created by impulsive noise events of some specified duration. Interleaving introduces delay, on the order of 40 times the maximum length correctable impulse.

Data in the downstream direction will be broadcast to every CPE on the premises or be transmitted to a logically separated hub that distributes data to addressed CPE based on cell or time-division multiplexing (TDM) within the data stream itself. Upstream multiplexing is more difficult. Systems using a passive network termination (NT) must insert data onto a shared medium, either by a form of TDM access (TDMA) or a form of frequency-division multiplexing (FDM). TDMA may use a species of token control called cell grants passed in the downstream direction from the

ONU modem, or contention, or both (contention for unrecognized devices, cell grants for recognized devices). FDM gives each CPE its own channel, obviating a Media Access Control (MAC) protocol, but either limiting data rates available to any one CPE or requiring dynamic allocation of bandwidth and inverse multiplexing at each CPE. Systems using active NTs transfer the upstream collection problem to a logically separated hub that would use (typically) Ethernet or ATM protocols for upstream multiplexing.

Migration and inventory considerations dictate VDSL units that can operate at various (preferably all) speeds with automatic recognition of a newly connected device to a line or a change in speed. Passive network interfaces need to have hot insertion, where a new VDSL premises unit can be put on the line without interfering with the operation of other modems.

VDSL Technology

VDSL technology resembles ADSL to a large degree, although ADSL must face much larger dynamic ranges and is considerably more complex as a result. VDSL must be lower in cost and lower in power, and premises VDSL units may have to implement a physical-layer MAC for multiplexing upstream data.

Line Code Candidates

Four line codes have been proposed for VDSL:

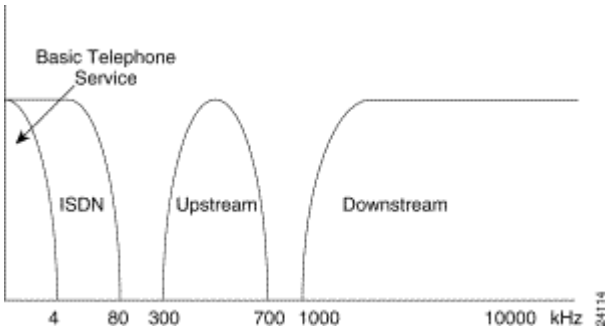
- *CAP (carrierless amplitude modulation/phase modulation)*---A version of suppressed carrier quadrature amplitude modulation (QAM). For passive NT configurations, CAP would use quadrature phase shift keying (QPSK) upstream and a type of TDMA for multiplexing (although CAP does not preclude an FDM approach to upstream multiplexing).
- *DMT (discrete multitone)*---A multicarrier system using discrete fourier transforms to create and demodulate individual carriers. For passive NT configurations, DMT would use FDM for upstream multiplexing (although DMT does not preclude a TDMA multiplexing strategy).
- *DWMT (discrete wavelet multitone)*---A multicarrier system using wavelet transforms to create and demodulate individual carriers. DWMT also uses FDM for upstream multiplexing, but also allows TDMA.
- *SLC (simple line code)*---A version of four-level baseband signaling that filters the based band and restores it at the receiver. For passive NT configurations, SLC would most likely use TDMA for upstream multiplexing, although FDM is possible.

Channel Separation

Early versions of VDSL will use frequency division multiplexing to separate downstream from upstream channels and both of them from basic telephone service and ISDN (shown in Figure 15-6). Echo cancellation may be required for later-generation systems featuring symmetric data rates. A rather substantial distance, in frequency, will be maintained between the lowest data channel and basic telephone

service to enable very simple and cost-effective basic telephone service splitters. Normal practice would locate the downstream channel above the upstream channel. However, the DAVIC specification reverses this order to enable premises distribution of VDSL signals over coaxial cable systems.

Figure 15-6: Early versions of VDSL will use FDM to separate downstream from upstream channels and both of them from basic telephone service and ISDN, as this example shows.



Forward Error Control

FEC will no doubt use a form of Reed Soloman coding and optional interleaving to correct bursts of errors caused by impulse noise. The structure will be very similar to ADSL, as defined in T1.413. An outstanding question is whether FEC overhead (in the range of 8%) will be taken from the payload capacity or added as an out-of-band signal. The former reduces payload capacity but maintains nominal reach, whereas the latter retains the nominal payload but suffers a small reduction in reach. ADSL puts FEC overhead out of band.

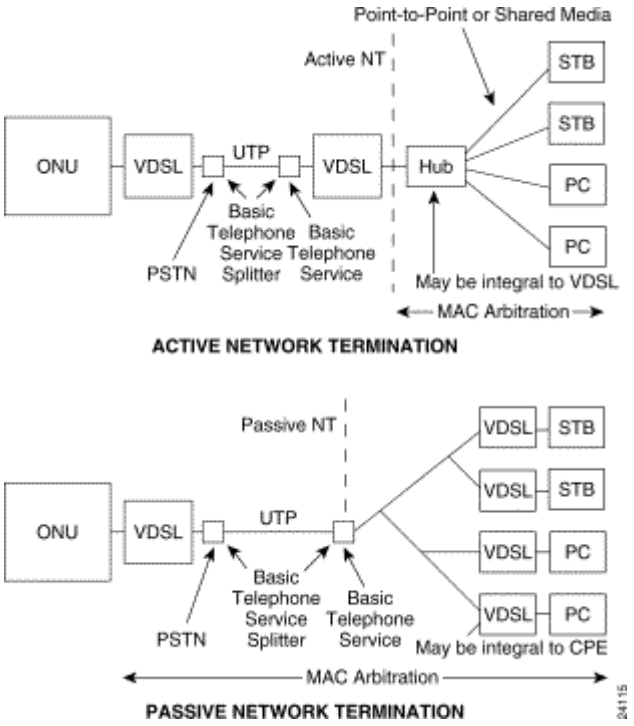
Upstream Multiplexing

If the premises VDSL unit comprises the network termination (an active NT), then the means of multiplexing upstream cells or data channels from more than one CPE into a single upstream becomes the responsibility of the premises network. The VDSL unit simply presents raw data streams in both directions. As illustrated in Figure 15-7, one type of premises network involves a star connecting each CPE to a switching or multiplexing hub; such a hub could be integral to the premises VDSL unit.

In a passive NT configuration, each CPE has an associated VDSL unit. (A passive NT does not conceptually preclude multiple CPE per VDSL, but then the question of active versus passive NT becomes a matter of ownership, not a matter of wiring topology and multiplexing strategies.) Now the upstream channels for each CPE must share a common wire. Although a collision-detection system could be used, the desire for guaranteed bandwidth indicates one of two solutions. The first invokes a cell-grant protocol in which downstream frames generated at the ONU or farther up the network contain a few bits that grant access to specific CPE during a specified period subsequent to receiving a frame. A granted CPE can send one upstream cell during this period. The transmitter in the CPE must turn on, send a preamble to condition the

ONU receiver, send the cell, and then turn itself off. The protocol must insert enough silence to let line ringing clear. One construction of this protocol uses 77 octet intervals to transmit a single 53-octet cell.

Figure 15-7: This figure shows examples of termination methods in passive and active networks.



The second method divides the upstream channel into frequency bands and assigns one band to each CPE. This method has the advantage of avoiding any MAC with its associated overhead (although a multiplexor must be built into the ONU), but either restricts the data rate available to any one CPE or imposes a dynamic inverse multiplexing scheme that lets one CPE send more than its share for a period. The latter would look a great deal like a MAC protocol, but without the loss of bandwidth associated with carrier detect and clear for each cell.

VDSL Issues

VDSL is still in the definition stage; some preliminary products exist, but not enough is known yet about telephone line characteristics, radio frequency interface emissions and susceptibility, upstream multiplexing protocols, and information requirements to frame a set of definitive, standardizable properties. One large unknown is the maximum distance that VDSL can reliably realize for a given data rate. This is unknown because real line characteristics at the frequencies required for VDSL are speculative, and items such as short bridged taps or unterminated extension lines in homes, which have no effect on telephony, ISDN, or ADSL, may have very detrimental affects on VDSL in certain configurations. Furthermore, VDSL invades the frequency ranges of amateur radio, and every above-ground telephone wire is an

antenna that both radiates and attracts energy in amateur radio bands. Balancing low signal levels to prevent emissions that interfere with amateur radio with higher signals needed to combat interference by amateur radio could be the dominant factor in determining line reach.

A second dimension of VDSL that is far from clear is the services environment. It can be assumed that VDSL will carry information in ATM cell format for video and asymmetric data communications, although optimum downstream and upstream data rates have not been ascertained. What is more difficult to assess is the need for VDSL to carry information in non-ATM formats (such as conventional Plesiochronous Digital Hierarchy [PDH] structures) and the need for symmetric channels at broadband rates (above T1/E1). VDSL will not be completely independent of upper-layer protocols, particularly in the upstream direction, where multiplexing data from more than one CPE may require knowledge of link-layer formats (that is, ATM or not).

A third difficult subject is premises distribution and the interface between the telephone network and CPE. Cost considerations favor a passive network interface with premises VDSL installed in CPE and upstream multiplexing handled similarly to LAN buses. System management, reliability, regulatory constraints, and migration favor an active network termination, just like ADSL and ISDN, that can operate like a hub, with point-to-point or shared-media distribution to multiple CPE on-premises wiring that is independent and physically isolated from network wiring.

However, costs cannot be ignored. Small ONUs must spread common equipment costs, such as fiber links, interfaces, and equipment cabinets, over a small number of subscribers compared to HFC. VDSL therefore has a much lower cost target than ADSL because VDSL may connect directly from a wiring center or cable modems, which also have much lower common equipment costs per user. Furthermore, VDSL for passive NTs may (only *may*) be more expensive than VDSL for active NTs, but the elimination of any other premises network electronics may make it the most cost-effective solution, and highly desired, despite the obvious benefits of an active NT. Stay tuned.

Standards Status

At present five standards organizations/forums have begun work on VDSL:

- *T1E1.4*---The U.S. ANSI standards group T1E1.4 has just begun a project for VDSL, making a first attack on system requirements that will evolve into a system and protocol definition.
- *ETSI*---The ETSI has a VDSL standards project, under the title High-Speed Metallic Access Systems, and has compiled a list of objective, problems, and requirements. Among its preliminary findings are the need for an active NT and payloads in multiples of SDH virtual container VC-12, or 2.3 Mbps. ETSI works very closely with T1E1.4 and the ADSL Forum, with significant overlapping attendees.
- *DAVIC*---DAVIC has taken the earliest position on VDSL. Its first specification due to be finalized will define a line code for downstream data, another for upstream data, and a MAC for upstream multiplexing based on

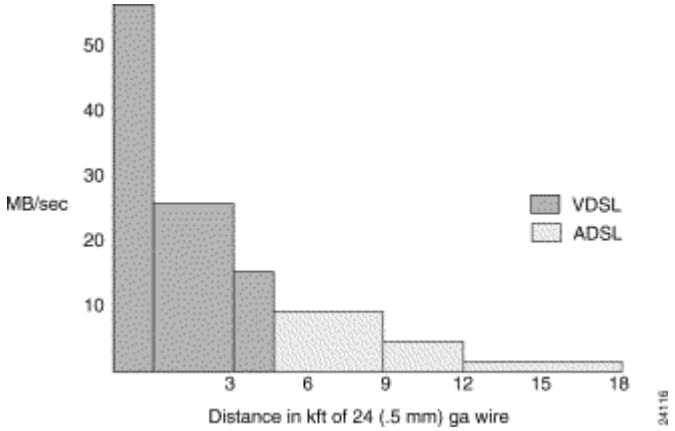
TDMA over shared wiring. DAVIC is only specifying VDSL for a single downstream rate of 51.84 Mbps and a single upstream rate of 1.6 Mbps over 300 m or less of copper. The proposal assumes, and is driven to a large extent by, a passive NT, and further assumes premises distribution from the NT over new coaxial cable or new copper wiring.

- *The ATM Forum*---The ATM Forum has defined a 51.84 Mbps interface for private network UNIs and a corresponding transmission technology. It has also taken up the question of CPE distribution and delivery of ATM all the way to premises over the various access technologies described above.
- *The ADSL Forum*---The ADSL Forum has just begun consideration of VDSL. In keeping with its charter, the forum will address network, protocol, and architectural aspects of VDSL for all prospective applications, leaving line code and transceiver protocols to T1E1.4 and ETSI and higher-layer protocols to organizations such as the ATM Forum and DAVIC.

VDSL's Relationship with ADSL

VDSL has an odd technical resemblance to ADSL. VDSL achieves data rates nearly 10 times greater than those of ADSL (shown in Figure 15-8), but ADSL is the more complex transmission technology, in large part because ADSL must contend with much larger dynamic ranges than VDSL. However, the two are essentially cut from the same cloth. ADSL employs advanced transmission techniques and forward error correction to realize data rates from 1.5 to 9 Mbps over twisted pair, ranging to 18,000 feet; VDSL employs the same advanced transmission techniques and forward error correction to realize data rates from 13 to 55 Mbps over twisted pair, ranging to 4,500 feet. Indeed, the two can be considered a continuum, a set of transmission tools that delivers about as much data as theoretically possible over varying distances of existing telephone wiring.

Figure 15-8: This chart provides a comparison of transfer rates between ADSL and VDSL.



VDSL is clearly a technology suitable for a full-service network (assuming that *full service* does not imply more than two high definition television [HDTV] channels over the highest-rate VDSL). It is equally clear that telephone companies cannot

deploy ONUs overnight, even if all the technology were available. ADSL may not be a full-service network technology, but it has the singular advantage of offering service over lines that exist today, and ADSL products are closer in time than VDSL. Many new services being contemplated today---such as videoconferencing, Internet access, video on demand, and remote LAN access---can be delivered at speeds at or below T1/E1 rates. For such services, ADSL/VDSL provides an ideal combination for network evolution. On the longest lines, ADSL delivers a single channel. As line length shrinks, either from natural proximity to a central office or deployment of fiber-based access nodes, ADSL and VDSL simply offer more channels and capacity for services that require rates above T1/E1 (such as digital live television and virtual CD-ROM access).

22-MAY-2003

THE END