

ADSL - Serviço ou Tecnologia?

Este tutorial tem por objetivo abordar aspectos de codificação, modulação e correção de erro utilizados na tecnologia ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*). Inicialmente, apresentam-se conceitos fundamentais da tecnologia ADSL, familiarizando o leitor e criando um background de conhecimento que será necessário para compreensão dos assuntos abordados na seqüência.



Gianfranco Muncinelli

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Santa Catarina, em 1995. Recebeu o título de Especialista em Engenharia Elétrica, concentração em Concepção e Análise de Dispositivos Eletromagnéticos, na mesma Universidade, em 1999. Especialista em Moderna Gestão Empresarial, também pela Universidade Federal de Santa Catarina, em 2000. Especialista em Telecomunicações pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná em 2002. Mestre em Ciências pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (ex CEFET-PR), área de concentração em Telemática, cujo tema da dissertação foi “Aplicação do Método das Linhas de Transmissão (TLM) no Estudo de Distúrbios Não Contínuos em Linhas Digitais Assimétricas de Assinante (ADSL)”, em 2006.

Trabalhou na NET Florianópolis, operadora de TV a Cabo, com aspectos técnicos relacionados à TV a Cabo e Cable Modem. Trabalhou na Brasil Telecom no início da implantação de sistemas ADSL em Curitiba, PR, na operação da planta. Ainda em Curitiba, atuou como Coordenador do Centro de Operação e Manutenção de Comunicação de Dados (falha, desempenho, configuração e segurança) de redes de Comunicação de Dados (IP, determinísticas, frame relay, X-25 e internet) do Paraná.

Atualmente continua na Brasil Telecom como Coordenador do Grupo de Suporte Nível 1 (First Call Resolution) de clientes Corporativos de Comunicação de Dados, no Centro Nacional de Operação, em Florianópolis, SC.

É Professor Titular na UnC – Fundação Universidade do Contestado, ministrando aulas para Engenharia de Telecomunicações e Instrutor III no Centro de Tecnologia em Automação e Informática - CTAI/SENAI, ministrando aulas para a Especialização em Redes Corporativas: Gerência, Segurança e Convergência IP e para a Graduação em Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações.

Publicou diversos artigos, relacionados a TV a Cabo, ADSL, Teoria da Informação e Comunicação de Dados, em revistas especializadas nacionais e em conferências de âmbito nacional e internacional. Interesses: Comunicação de Dados, Teoria da Informação, ADSL, Cable Modem, TV a Cabo, ITIL, Project Management e Gestão de Empresas de Telecomunicação.

Categoria: Banda Larga

Nível: Introdutório

Duração: 20 minutos

Enfoque: Técnico

Publicado em: 16/10/2006

ADSL: Introdução

Comumente chama-se ADSL de “serviço”, porém, se um pouco mais de purismo é requerido, pode-se afirmar que ADSL é uma tecnologia de modem muito sofisticada, ou seja, uma tecnologia de codificação que pode desenvolver encapsulamentos de camadas mais altas como ATM e IP.

Dessa forma, uma abordagem por camadas talvez seja mais apropriada para descrever a tecnologia.

Camada	Funcionalidade
7	Aplicação
6	Apresentação
5	Sessão
4	Transporte
3	Rede
2	Enlace
1	Física

Tabela 1: Modelo OSI (*Open System Interconnect*) de Referência.

A base do modelo OSI é a divisão da complexidade do projeto organizando a rede em camadas, com níveis de abstração diferentes definindo uma pilha de protocolos. Ele contém sete camadas, sendo cada uma, responsável por oferecer serviços às camadas superiores de uma forma transparente, ou seja, as demais camadas não precisam saber de detalhes da implementação do serviço implementado nesta camada. Relembrando um pouco sobre cada camada do modelo OSI:

- **Camada física:** é a camada que fornece a infra-estrutura para todas as camadas acima dela. ADSL e SDH são exemplos de tecnologia de camada física. Especifica um padrão para a interconexão física entre *hosts* e comutadores de pacote de rede, e também os procedimentos usados para transferir pacotes de uma máquina para outra;
- **Camada de enlaces de dados:** esta camada provê acesso controlado à camada física. Especifica como os dados transitam entre um comutador de pacote e um *host* ao qual está conectado. Define o formato dos quadros e especifica como as duas máquinas reconhecem os limites do quadro. Já que a transmissão de erros pode destruir os dados, o protocolo de nível inclui a detecção de erro, permitindo que as duas saibam quando a transferência de um quadro foi bem-sucedida;
- **Camada de rede:** provê a conectividade fim a fim, através de endereçamento e roteamento. O foco aqui é o IP. Camada de transporte. Garante que o destino recebe os dados exatamente da forma que eles tenham sido mandados. Com a camada de transporte é possível rodar vários programas de aplicação sobre redes diferentes, uma vez que se utilizam primitivos padrões da camada de transporte;
- **Camada de sessão:** permite que os usuários estabeleçam uma sessão, ou seja, um ambiente iniciado a partir de uma conexão e que permite a transferência organizada de dados. Além disso, gerencia os diálogos, ou seja, o controle de quem deve ser a vez de conversar. Existem conexões *full-duplex*, onde os dados se movem nos dois sentidos simultaneamente, e *half-duplex*, onde há comunicação de um lado de cada vez;
- **Camada de apresentação:** fica um tanto escondida do usuário final e cuida dos problemas

- relacionados com a representação dos dados transmitidos, como conversão, criptografia e compressão;
- **Camada de aplicação:** contém os programas com os quais o usuário interage, como por exemplo: correio eletrônico, transferência de arquivos, acessos a arquivos remotos, entre outros. Especificamente sobre ADSL, a camada física manuseia a codificação básica, incluindo *standards*, taxas de dados e compatibilidade com outras tecnologias da rede metálica. Entre os *standards* inclua-se *Discrete Multitone* (DMT) e *Carrierless Amplitude and Phase* (CAP).

ADSL: Codificação do Sinal

A abordagem da técnica de codificação se restringirá ao *Discrete Multitone* (DMT), pois é a técnica mais usada em aplicações comerciais. Na literatura em geral encontram-se também informações sobre a modulação CAP [13] [16].

A técnica de modulação DMT é de banda passante, pois sua frequência limite inferior é um valor diferente de zero. Sistemas RDSI, ADSL e HDSL utilizam a banda base (frequência limite inferior é zero). Isto explica porque o ADSL pode conviver com a transmissão de voz analógica, no mesmo par.

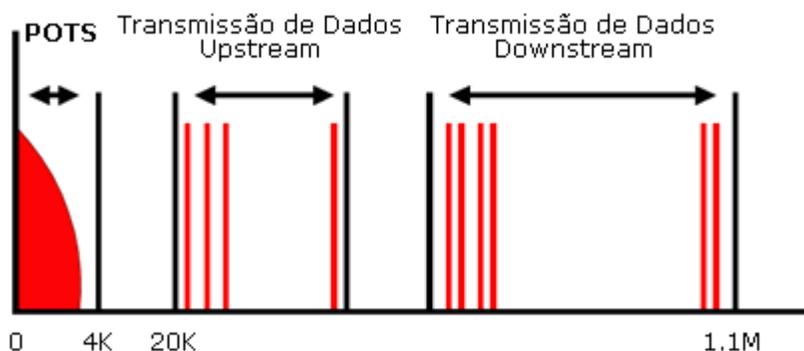


Figura 1: Bandas do Sistema.

A técnica DMT divide o espectro em 256 canais, de 4,3125 kHz de largura cada, chamados “bins”. Utiliza-se modulação de amplitude e fase para o transporte de dados em cada canal. A técnica prevê uma detecção de integridade dos dados transmitidos em cada um destes canais. Se um dos canais estiver danificado, o dano é detectado e os dados deixam de ser transmitidos por aquele canal, e são repassados para os outros canais. Cada canal é monitorado individualmente na relação sinal ruído e, dependendo desta relação, será alimentado com mais ou menos bits. Dessa forma, apenas os melhores canais são utilizados.

O modem pode modular cada um destes canais com uma densidade de bit diferente (até um máximo de 15 bits/segundo/Hz ou 60 kbit/s / 4kHz tom) dependendo do ruído da linha. Em baixas frequências, onde existem menos interferências, a linha pode suportar 10 bits/segundo/Hz, enquanto que em altas frequências este valor pode cair de 10 para 4 bits/segundo/Hz devido a um decréscimo correspondente de largura de banda. Este uso de subportadoras é bem mais complexo do que as solicitações de processamento do CAP. Este fato torna DMT mais robusto que CAP.

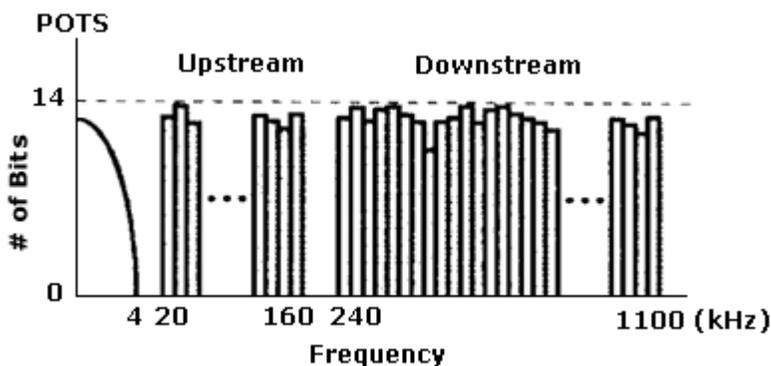


Figura 2: Canais da Modulação DMT.

Dentro do DMT, a frequência de 0 kHz não é usada, pois encontra-se na faixa utilizada pela voz. Além disso, a subportadora de número 256, na frequência de *Nyquist*, não é usada para transporte de dados. O limite mais baixo para tráfego de dados na direção *upstream* (para o ATU-C) é determinado pelos filtros de POTS.

Isto também determina a frequência de divisão entre *up* e *downstream*. Ainda, um tom piloto é modulado e transportado pela portadora 64 (276 kHz). DMT utiliza uma IDFT (*Inverse Discrete Fourier Transform*) para modulação dos dados em cada portadora, sendo que a largura de banda disponível em cada portadora é uma função do número de símbolos, resultando em um tipo de constelação de modulação de complexidade variável de até 256 pontos [10].

A modulação DMT (*Discrete Multi Tone*) foi escolhida pelo *American National Standards Institute* (ANSI) como padrão pela norma T1.413 [2].

ADSL: Modulação

O ADSL utiliza a *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) como técnica de modulação de sinal para poder atingir a transmissão de até 15 bits em cada subcanal formado pela codificação DMT. QAM é uma técnica que emprega uma combinação de modulação de amplitude e deslocamento de fase.

Por exemplo, um sinal que transmite três bits por *baud* necessita de oito combinações binárias para representá-lo. Este exemplo demonstra as duas medidas de amplitude e os quatro deslocamentos de fase possíveis, que permitem a representação de oito tipos de onda necessários para a representação do sinal. A tabela II detalha as combinações de amplitude e deslocamento de fase do exemplo dado.

Valor do bit	Amplitude	Deslocamento de fase
000	1	Nenhum
001	2	Nenhum
010	1	$\frac{1}{4}$
011	2	$\frac{1}{4}$
100	1	$\frac{1}{2}$
101	2	$\frac{1}{2}$
110	1	$\frac{3}{4}$
111	2	$\frac{3}{4}$

Tabela 2: *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM).

Usando-se a técnica descrita, uma *stream* de dados de grande tamanho pode ser quebrada em palavras de três bits, como por exemplo: **001-010-100-011-101-000-011-110**.

A figura 3 ilustra a codificação do sinal descrito acima, demonstrando a variação de amplitude e deslocamento de fase de cada onda em relação à anterior.

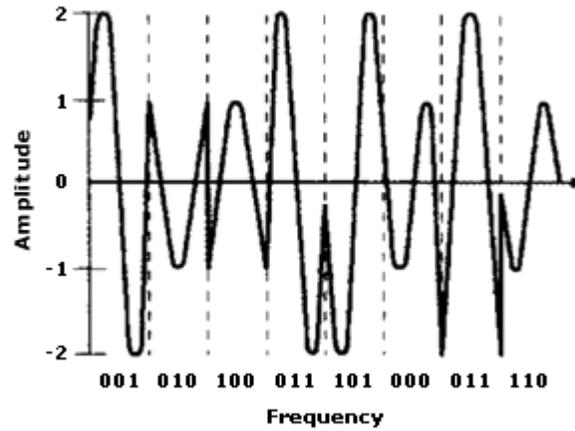


Figura 3: Exemplo de QAM.

No caso particular do DMT, para transmitir 15 bits de dados em um único tom, são necessárias 32.768 combinações de amplitude e deslocamento de fase.

ADSL: Correção de Erro

O código de *Reed-Salomon* é uma forma de FEC (*Forward Correction Error*) e é utilizada no ADSL para trazer resiliência adicional contra o ruído da linha [3] [4] [6] [8].

O código de *Reed-Solomon* é um subtipo do código cíclico BCH (*Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*) que foi desenvolvido para executar correção de erros múltiplos, é não binário (mulsímbolo). Tome-se como exemplo um símbolo b -bit, onde tem-se $q=2b$ símbolos possíveis (*codewords* – palavras código). Atribuindo um valor para $b=8$ bits (da literatura, um código comum), o que apresenta 256 símbolos possíveis.

Um código de *Reed-Solomon* (n,k) é também um código de bloco, onde em k símbolos de informação que estão inseridos no codificador, n símbolos de palavra-código aparecem na saída. Neste tipo de código, os símbolos de palavra-código estão limitados como sendo, em sua maioria, $n \leq q+1$ símbolos de comprimento (apesar desta relação de $n \leq q+1$ ser normalmente usada como premissa de projeto). (Obs: Códigos *Reed Solomon* podem ser estendidos para $n = q$ e $n = q + 1$ em comprimento médio) [5].

Por exemplo, se forem utilizados grupos de 6 bits (64k), códigos de *Reed Solomon* podem ser gerados. Um código *Reed Solomon* (64,40) consistiria de palavras código de $64 \times 6 = 384$ bits, cada uma contendo 240 bits de informação, tratados como 40 símbolos de 6 bits.

No código (64,40) descrito anteriormente, temos comprimento de palavras-código de $q=26=64$ bit. A fração de possíveis palavras-código de 64 símbolos de comprimento é utilizada como palavra-código se $64-24 = 2-144$. O que demonstra a grande capacidade de detecção e correção de erro, neste caso particular, pode-se corrigir erros de até 12 símbolos.

Primeiro as palavras-código são formadas (*code-words*), então são passadas por um *interleaver* para uma proteção melhorada contra ruído. A ação do *interleaver* é ajustável pode ser programada para sem *interleaving* e para 2, 4, 8 ou 16 *code-words*. Ainda, pode ser ajustado independentemente para os canais de *downstream* e *upstream*. Porém, quando a resiliência (*resiliency*) é incrementada, o preço é pago em latência, como será explicado a seguir.

Durante a sincronização inicial entre ATU-C (*ADSL Termination Unit - Central Office*, ou Unidade de Terminação do ADSL, Central Telefônica) e ATU-R (*ADSL Termination Unit - Remote*, ou Unidade de Terminação do ADSL, Remota Assinante), o sinal ADSL é transmitido via células ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) vazias. A taxa de transferência das próximas células ATM pode ser configurada de dois modos: *fast data* e *interleaved*.

Como os próprios nomes indicam, *fast data* é um método de transporte com latência mais baixa (entenda-se por latência o tempo de comunicação entre os dois dispositivos, conceito comumente utilizado quando o assunto é comunicação de roteadores), enquanto que o método *interleaved* é mais robusto com correção adicional de bits errados embutida no sinal. Em comparação, o método *fast data* (sem o código de *Reed-Salomon*) tem atraso (*delay*) menor do que o *interleaved*.

Codificação Trellis (Trellis Encoding)

A largura de banda total de uma comunicação pode ser reduzida utilizando-se a codificação trellis, um método que incrementa a resiliência do sinal transmitido pela linha. Em oposição à codificação direta da informação em dos pontos da constelação, a codificação trellis introduz um passo adicional que incrementa a

robustez da informação: dado um símbolo codificado em um ponto da constelação, o próximo símbolo só poderá ser codificado em um valor de um conjunto de valores predefinidos.

Se, no receptor, o ponto sofreu deslocamento (devido ao ruído) ele deverá ser encaixado em um ponto válido de um dos pontos na área. A resiliência é a razão porque trellis é uma opção para a constelação de 256 pontos (uma grande constelação incrementa o potencial para erro) que é reduzida pela codificação trellis [3] [4].

ADSL: Considerações Finais

As redes locais compostas de pares trançados podem ser consideradas ambientes controlados no que diz respeito às suas características físicas. No caso do sistema ADSL, quem transporta estes sinais é a rede telefônica das operadoras.

Sendo a rede uma personagem dinâmica e sujeita a degradações múltiplas, a transmissão e recepção satisfatórias do sinal devem ser garantidas por um eficiente sistema de controle.

A codificação, modulação e correção de erro do sinal ADSL são itens fundamentais e complementares entre si para este objetivo, bem como para aproveitamento máximo da capacidade de transmissão do meio metálico.

O presente trabalho procurou abordar de forma lógica e seqüencial estes itens e apresentá-los de forma a estabelecer um raciocínio prático do funcionamento do sistema completo.

Referências

- [1] AG COMMUNICATION SYSTEMS. Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL). Página da WEB, IEC - International Engineering Consortium, Web ProForum Tutorials, <http://www.iec.org>, Setembro 2002.
- [2] ANSI T1.413-1998. Network and Customer Installation Interfaces – Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) Metallic Interface. Norma do American National Standards Institute, 1998.
- [3] ASH, ROBERT B.. Information Theory. New York: Dover Publications Inc., 1965.
- [4] GINSBURG, DAVID. Implementing ADSL. Massachusetts: Addison Wesley Longman Inc., 1999.
- [5] GODOY JR., WALTER. Esquemas de Modulação Codificada com Códigos de Bloco. Curitiba: Cefet-PR, 1991.
- [6] KAILATH, THOMAS. Applied Coding and Theory Information for Engineers. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1999.
- [7] LANE, JIM. Personal Broadband Services: DSL and ATM. New York: Virata, 1998.
- [8] LIN, SHU; COSTELO JR., DANIEL J.. Error Control Coding: Fundamentals and Applications. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1983.
- [9] MUNCINELLI, GIANFRANCO. Qualificação de Linha para Serviço ADSL. Anais do CININTEL 2001 – IV Congresso Internacional de Infraestrutura para Telecomunicações. Foz do Iguaçu, 2001.
- [10] PAIRGAIN. DSL – The Technology Guide Series. <http://www.pairgain.com>, Setembro 2002.
- [11] RAUSCHMAYER, DENNIS J.. ADSL/VDSL Principles: A practical and precise study of asymmetric digital subscriber line and very high speed digital subscriber lines. Indianapolis: MacMillan Technical Publishing, 1999.

[12] TTC. ADSL Basics (DMT). Technical Note. www.ttc.com, Dezembro 2000. IX.

ADSL: Teste seu Entendimento

1. Pelo exposto no artigo, o ADSL encontra-se em qual(is) camada(s) do modelo OSI (incluindo o ATM)?

- 1
- 2
- 1 e 2

2. Assinale o comentário correto acerca da afirmação: ADSL significa “Asymmetric Digital Subscriber Line”, porém a modulação QAM é analógica.

- QAM não é modulação analógica, e sim digital.
- A modulação é analógica, mas a informação é digital.
- O acrônimo ADSL está errado.

3. A linha telefônica convive com o ADSL no mesmo par trançado. Como?

- DMT é banda passante.
- DMT é banda base.
- Não convive no mesmo par trançado.