

WANTEC 3

Tecnologias de Redes WAN

Redes Ópticas

Esta nota de aula e o material suplementar (slides da aula) podem ser obtidos em:

<https://drive.google.com/drive/folders/1EH5bdHxR8Bpsbj1jRqsmSn9rtqZxVsZ3?usp=sharing>

Nesta aula veremos algumas tecnologias de redes ópticas. A primeira tecnologia é dos sistemas WDM, que permite transmitir diferentes sinais luminosos simultaneamente pela mesma fibra óptica. Veremos a tecnologia OTN, que especifica esquemas de modulação óptica, multiplexação de tributários e gerência de rede. Em seguida veremos a tecnologia ASON, que permite a automação das redes. Finalmente abordaremos a tecnologia GMPLS. Todas são tecnologias empregadas nas redes atuais.

WDM

A tecnologia WDM (Wavelength Division Multiplex) permite compartilhar a mesma fibra óptica por diferentes equipamentos de transmissão óptica. É o mesmo princípio da transmissão de rádio em que várias estações transmitem em canais diferentes simultaneamente. No caso do WDM cada transmissão óptica é feita num comprimento de onda diferente.

Há dois padrões diferentes para esta canalização: Coarse (grosso) WDM e o Dense WDM.

No Coarse WDM há um grid de 18 canais com separação de 20 nm entre eles. No caso de distâncias maiores que 40km, o grid pode ser reduzido a 8 canais, pois parte dos canais fica na região de pico de absorção de água. Este sistema é de baixo custo, usado em redes metropolitanas em que não há necessidade de regeneradores.

No Dense WDM o grid é formado por canais de 0,8nm, sempre em torno dos 1500 nm. É empregado para sistemas de longa distância e alta taxa de transmissão (100 Gbps). O DWDM permite que se use amplificadores de fibra dopada por érbio. Este tipo de amplificador funciona apenas nas bandas C, L e S. O uso desses amplificadores traz uma enorme vantagem econômica, pois o mesmo amplificador vai atuar em todos os canais de uma fibra.

Topologia WDM

A topologia das redes WDM modernas é similar à das redes SDH. Na figura do arquivo de slides podemos ver o roteamento dos tráfegos AF, BC, DE e EF. No exemplo temos tráfegos IP e SDH.

O tráfego AF entra no ponto A como tributário de um multiplex tipo OADM, que faz parte de um anel. O anel está interligado a um multiplex tipo OXC. Este OXC Interliga dois anéis e dois terminais de linha. O tráfego AF é roteado por um dos terminais de linha, passa por outros dois mux tipo OXC até o outro anel onde está o ponto F. Observe que no terceiro multiplex o tráfego AF muda de comprimento de onda. Em parte da caminho λ_1 está sendo usado para os tráfegos BC e

DE. Em outra parte do caminho, λ_2 é usado para o tráfego EF. Esta troca de λ é realizada totalmente no domínio óptico pelo OXC intermediário.

OLT - Equipamento terminal de linha

OADM - Inserção e extração de λ - Add Drop Mux óptico.

ROADM - OADM reconfigurável

OXC - Comutador óptico – Cross Connect

ROADM

Os multiplexadores Add Drop ópticos reconfiguráveis (ROADM) são equipamentos essenciais para uma operação eficiente das redes ópticas. A reconfigurabilidade é a capacidade de selecionar os comprimentos de onda que devem ser inseridos ou retirados dos agregados em tempo real. Isto é realizado com o emprego de filtros e lasers sintonizáveis. Eles permitem flexibilidade e agilidade do serviço. Sem este equipamento, é preciso planejar com antecedência e implantar equipamentos adequados para um conjunto limitado de configurações. Com os ROADM, as operadoras tem maior flexibilidade, reconfigurando a rede dinamicamente conforme necessário.

OTN

A partir das experiências com as redes SDH, o ITU-T definiu uma rede de transporte óptica, otimizada para transporte transparente e econômico de uma variedade de sinais de clientes através de WDM. A arquitetura da rede de transporte óptico (OTN) é especificada na recomendação G.872. O formato de quadros e os mapeamentos de carga útil são especificados na recomendação G.709.

Suas principais características são:

- É menos complexa que SONET/SDH.
- Orientado para WDM. O Overhead é otimizado para DWDM
- Granularidade da ordem de uma ou duas vezes superior à do SONET/SDH. Mais escalabilidade para altas taxas.
- Admite diferentes clientes Ethernet e storage area network (SAN) de forma transparente
- Possui gerência integrada, inclusive no contexto de interconexão entre diferentes operadoras.
- OTN possui forward error correction (FEC) integrado.
- Mapeamento síncrono ou assíncrono.

Elementos do Modelo OTN

A rede OTN possui um domínio elétrico e um domínio óptico.

No domínio elétrico o sinal do cliente é acrescido de informação de gerência e alinhamento, dando origem a uma Unidade de Transporte Óptica (OTU), que será transportada por uma portadora óptica num determinado comprimento de onda, que recebe a denominação de Canal Óptico (Och).

No domínio óptico uma unidade óptica multiplexada (OMU) consiste em um grupo de comprimentos de onda multiplexado por WDM. O Módulo de Transporte Óptico (OTM) consiste em um OMU e um canal óptico de supervisão (OSC), utilizado para gerência da rede (em seu próprio comprimento de onda fora da banda de amplificação). O OSC transporta informação de cabeçalho não associada do OTM.

Modelo de Referência

O canal óptico OCh e as seções OMS e OTS fornecem os meios para avaliar a qualidade de transmissão do canal, incluindo detecção de erros. Os cabeçalhos OCh e OTS permitem a verificação de conectividade. Os cabeçalhos OTS possuem informações para o direcionamento do sinal, como por exemplo: Nível de potência do sinal óptico, relação sinal ruído óptico, etc. Essas características são fornecidas aos amplificadores ao longo do trajeto. O modelo de referência prevê que o ODU passe pela interconexão de diferentes operadoras ou subredes dentro da mesma operadora.

Quadros OTN

O sinal do cliente acrescido de um cabeçalho forma a Unidade de payload óptica (OPU). Uma OPU é conceitualmente semelhante a uma rota no SDH. Um cabeçalho de OAM (gerência) é adicionado ao OPU para criar a Unidade de Dados Ópticos (ODU). Um cabeçalho de transporte (contendo, por exemplo, informação de alinhamento de quadros) é adicionado para criar uma Unidade Ótica de Transporte (OTU), que é o sinal digital totalmente formatado. A OTU é transmitida por um comprimento de onda, que constitui o canal óptico (OCh). Há 4 tipos de OTU: OTU-1 a OTU-4, com capacidades variando de 2,66Gbps a 112Gbps. Ainda não há OTU-5 para 400 Gbps.

Capacidade das OTU

OTU1 2.66Gbps OC-48 ou STM-16

OTU2 10.70Gbps OC-192, STM-64 ou 10 Gigabit

Ethernet (10GBASE-W)

OTU2e 11.09Gbps 10 Gigabit Ethernet

OTU2f 11.32Gbps

OTU3 OC-768, STM-256 signal ou 40 Gigabit Ethernet

OTU3e2 44.58Gbps quatro OTU2e

OTU4 112Gbps 100 Gigabit Ethernet

Formato de Quadro

De forma similar ao SDH os quadros OTU organizam os octetos em linhas e colunas. Há conjuntos de octetos para os diversos cabeçalhos do quadro, ponteiros de alinhamento e carga útil.

Monitoramento de Performance

O formato e o processo de montagem dos quadros OTU permitem um sistema hierárquico de gerência. No cabeçalho das ODU há os campos tandem connection monitoring (TCM) que permitem transportar informação de gerência de modo hierárquico. Este recurso permite monitorar o caminho óptico fim-a-fim, Monitorar em cada domínio de diferentes operadoras, e monitorar segmentos da rede para atuação dos mecanismos de proteção.

Regras de Multiplexação

Há várias formas de multiplexar os tributários no domínio elétrico para que sejam transportados num canal óptico (comprimento de onda). Por exemplo, dois tributários Gigabit Ethernet podem ser encapsulados num OPU0 cada 1. Os dois OPU0 podem ser concatenados num ODU1 que será encapsulado num OTU-1 (2,66Gbp.s).

Tipos de payload

- 02 Asynchronous CBR mapping
- 03 Bit synchronous CBR mapping,
- 04 ATM mapping
- 05 GFP mapping
- 06 Virtual Concatenated signal
- 07 1000BASE-X into ODU0 mapping
- 08 FC-1200 into ODU2e mapping
- 09 GFP mapping into Extended OPU2 payload (Note 2)
- 10 Bit stream with octet timing mapping,
- 11 Bit stream without octet timing mapping.

Tipos de payload

CBR

STM-16 - CBR2G5 - OPU1

STM-64 - CBR10G - OPU2

STM-256 - CBR40G - OPU3

GBE

1.25 Gbit/s 8B/10B GE -> OPU0 (OPU especial para 1GB Ethernet)

10GE (10.3125 Gbit/s)->10GE WAN-PHY->OPU2

10GE (10.3125 Gbit/s)-> -IFG+GMP ->OPU2 (estatística)

10GE (10.3125 Gbit/s)-> -IFG+GMP ->OPU2e

40GE (40.150519 Gbit/s)-> -IFG+GMP ->OPU3e

Generic mapping procedure (GMP) e Interframe gap (IFG) Mapeamento de qualquer tributário em qualquer OTU capaz de transmitir acima da taxa do tributário.

Concatenação Virtual

Emprego de múltiplos OPUk concatenados virtualmente e roteados por caminhos diferentes

LCAS - Alocação dinâmica de banda

OPUk-Xv => X = número de OPUks. Cada OPUk é colocado num ODUk

ODUk-Xv=> X = número de ODUks.

Capacidade = $X * 238 / (239 - k) * 4(k - 1) * 2488320 \text{ kbit/s} \pm 20 \text{ ppm}$.

Tipo de payload concatenado

02 asynchronous CBR mapping

03 bit synchronous CBR mapping

04 ATM mapping,

05 GFP mapping

10 bit stream with octet timing mapping

11 bit stream without octet timing mapping

MULTI-PROTOCOL LABEL SWITCHING

A tecnologia MPLS é uma tecnologia de rede de comutação de pacotes. Foi concebida como solução de convergência. As redes MPLS poderiam transportar tráfego IP, ATM, Frame Relay, etc. Na prática tornou-se um complemento do protocolo IP. A associação IP + MPLS tornou as redes IP mais escaláveis, reduziu seu custo e aumentou sua eficiência. Essa associação criou uma solução tecnológica que inviabilizou sua maior concorrente, a tecnologia ATM.

O modelo de referência das redes MPLS possui dois tipos de nós:

label switching routers (LSR) – são os roteadores do núcleo da rede. O roteamento MPLS utiliza labels, o que simplifica o problema. Os LSR podem tratar um volume imenso de pacotes mas são equipamentos relativamente simples e baratos.

label edge routers (LER) – São os roteadores que são interligados aos clientes da rede. Estes nós são os responsáveis por classificar os tráfegos e atribuir as etiquetas que determinarão as rotas dos pacotes.

Tecnologia MPLS

A tecnologia MPLS é uma tecnologia para redes WAN de banda larga. Nasceu de uma proposta de Cisco. O princípio de funcionamento consiste em agrupar endereços IP com mesmo prefixo em classes FEC (Forwarding Equivalent Class). É criada uma associação entre uma FEC a uma etiqueta (label) nos nós LER.

A tecnologia MPLS é identificada como uma tecnologia de camada 2,5. Ela não possui um esquema de roteamento e endereçamento completo, depende do roteamento IP. Mas executa funções da camada de rede.

ATM e Frame Relay x MPLS

Em relação ao Frame Relay

Adaptado à banda larga.

Garantia de QOS;

Em Relação ao ATM

Total Integração com IP, nós LER trabalham com endereços IP

Encaminhamento utilizando Labels no interior da Rede, com menor custo e maior escalabilidade.

Sem segmentação de pacotes em células

Sem necessidade da AAL

Label Switched Path

LSP é a rota por onde são encaminhados os pacotes. Em cada nó da rede há uma tabela denominada label forward information base (LFIB). Esta tabela identifica para cada interface de entrada e para cada label qual a interface de saída e o novo label do pacote. Um esquema semelhante ao do Frame Relay.

No exemplo da figura, o nó B, ao receber um pacote com label 62 na interface if1, troca o label para 15 e envia o pacote para a interface if0. A operação se repete no nó D, que troca a etiqueta para 60. Assim temos o LSP 62-15-60.

LSP Stack

O sistema de labels MPLS pode utilizar um esquema hierárquico. No exemplo da figura, os domínios A e C utilizam um nível de etiquetas enquanto o domínio B utiliza outro. Quando há uma troca de nível ocorre uma operação pop ou push.

Formato da Etiqueta

Label – Contém a identificação da etiqueta

EXP – Contém um identificador de classe de serviço

S – Identifica se é o fundo de uma pilha de labels

TTL – Especifica quando o pacote deve ser eliminado (sistema anti loop)

Protocolos de Distribuição

O MPLS pode utilizar diferentes protocolos para distribuição dos labels:

- Border Gateway Protocol (BGP)
- RSVP (veremos mais adiante no curso)
- Label Distribution Protocol (LDP) – IETF

O LDP é um protocolo que gera e troca automaticamente etiquetas entre roteadores. Cada roteador primeiro estabelece quem são os nós adjacentes, cria localmente rótulos para seus prefixos e, em seguida, anuncia os valores dos rótulos para seus vizinhos.

Downstream on Demand: este modo é usado pelo RSVP e pelo LDP no seamless MPLS. Nesse modo, um roteador fornece um mapeamento de etiquetas somente quando solicitado por um dispositivo Upstream (na direção do destino dos pacotes). Por exemplo, no RSVP-TE, um Headend envia uma solicitação PATH para o destino. O roteador no destino responde com RESV, que inclui o mapeamento de FEC e etiqueta.

Downstream Não Solicitado: Este modo é usado pelo BGP-LU e pelo LDP. Nesse modo, um LSR não espera uma solicitação para sinalizar as associações FEC aos labels. Assim que o LSR aprende uma rota, ele envia a associação a todos os LSRs pares, tanto a montante quanto a jusante.

GMPLS x ASON

Para que a rede seja operacional é preciso que haja um sistema de gerência que atue no plano de controle. Numa rede em que todos equipamentos são de um mesmo fabricante, pode-se utilizar um sistema de gerência proprietário. Isso não é interessante para as operadoras (e para os usuários), pois fica-se dependente de um fabricante. As redes públicas utilizam equipamentos de diferentes fabricantes e necessitam de sistemas de gerência padronizados. GMPLS e ASON são padrões de automação que viabilizam estes sistemas de gerência.

International Telecommunications Union (ITU)

- Architecture for Automatically Switched Optical Networks (or ASON).
- Arquitetura do plano de controle.

Internet Engineering Task Force (IETF),

- Generalized Multi-Protocol Label Switching (or GMPLS).
- End-to-end - “GMPLS everywhere”.
- Permite implementar uma rede ASON.
- Arquitetura dos planos de controle e dados

GMPLS

O GMPLS abrange tanto o plano de controle como o plano de dados. No plano de controle engloba os protocolos de distribuição de labels e engenharia de tráfego.

No plano de dados atua no roteamento de pacotes. Este roteamento é integrado em relação à rede MPLS e a rede óptica.

Labels GMPLS

Generalização dos labels:

Rede de Pacotes (IP-MPLS)

- Rede SDH
- Rede OTN (WDM)

Interfaces de um LSR

- Packet-switch capable (PSC)
- Time-division multiplex capable (TDM)
- Lambda switch capable (LSC)
- Fiber-switch capable (FSC)

Label Switching Path

O diagrama mostra como os roteadores B e C estão interligados pela rede óptica. Eles possuem um interface OC-48 (2,5Gbps) com um DCS (Digital Cross Connect System – SDH). O DCS, por sua vez, se conecta à rede WDM por meio de um OC-192 (10Gbps).

Podemos identificar três caminhos LSP associados à rota na rede óptica, à rota no sistema SDH e à rota da rede MPLS.

Significado de um label

SONET/SDH Virtual Container - VC

Um comprimento de Onda

Uma banda de comprimentos de onda

Uma fibra

Evolução do GMPLS

Label Sugerido

Lista de labels

Labels bidirecionais

Informação de Proteção

Link Management Protocol LMP

Signaling Extensions for WSONs (RFC7689)

Wavelength Switched Optical Networks

Routing and Wavelength Assignment Information Model for
WSONs (RFC7446)

Routing and Wavelength Assignment Information Encoding
for WSONs (RFC7581)

General Network Element Constraint Encoding for
GMPLS-Controlled Networks (RFC7579)

PCEP Requirements for WSON Routing and Wavelength
Assignment (RFC7449)

OSPF-TE Extensions for General Network Element
Constraints (RFC7580)

OSPF Enhancement for Signal and Network Element
Compatibility for WSONs (RFC7688)

ASON

ASON é uma arquitetura que define os componentes em um plano de controle óptico e as interações entre esses componentes. Também identifica como as interações ocorrerão numa rede com

equipamentos de diferentes fornecedores. Portanto, exigirão protocolos padrão. ASON não é um protocolo ou uma coleção de protocolos. Alguns pontos não são padronizadas intencionalmente para permitir que fornecedores ou operadoras criar “valor agregado”. As principais recomendações são:

- Architecture for Automatically Switched Optical Networks (G.8080)
- Distributed Call and Connection Control (G.7713,)
- Architecture and Requirements for Routing in the Automatic Switched Optical Networks (G.7715)
- Generalized Automated Discovery Techniques (G.7714).

Plano de Controle

A arquitetura ASON utiliza um esquema distribuído de controle, em que componentes possuem interfaces funcionais genéricas.

Camadas ASON

ASON utiliza um modelo de recursos cliente-servidor. No exemplo do diagrama temos a multiplexação de um ODU1 num ODU3. Cada camada do modelo possui sub-redes de comutação e links que as interconectam. Um ponto de sub-rede (SNP) é tanto uma representação do ponto de acesso de um cliente como de um ponto de comutação na sub-rede. Um link SNPP representa uma capacidade de transporte entre SNPs. As conexões de sub-rede SNP (SNCs) são interconexões na mesma sub-rede. Uma conexão de link SNP em uma rede cliente é transportada por uma conexão de rede SNP.