Metro Ethernet

Davi M. Fraulob, Edgar J. Piacentini

Mestrado em Informática Aplicada
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Curitiba, novembro 2006

Resumo. *O mercado tem cada vez mais buscado por soluções de rede que tenham baixo custo e garantam qualidade de serviço, propiciando interconexão entre as redes corporativas geograficamente distribuídas e também com a internet. As redes Metro Ethernet tem se mostrado uma escolha óbvia, por propiciar simples administração, baixo custo, fácil interconexão e boa granularidade de banda. Novos protocolos têm sido propostos de maneira a atribuir a estas redes qualidade de serviço, segurança e robustez, de modo a se aproximar das características das redes de circuito tradicionais, mantendo as vantagens de uma rede de pacotes.*

1. Introdução

Por muitos anos, o padrão Ethernet tem sido o protocolo dominante em redes LAN; hoje, mais de 98% do tráfego corporativo passa por interfaces Ethernet. Isto é motivado pela simplicidade, facilidade de operação, alto grau de integração e padronização do protocolo Ethernet, o que torna esta tecnologia extremamente atrativa em termos de custo. Por outro lado, o mesmo não acontece com as redes MAN e WAN, com as operadoras oferecendo serviços baseados em ATM, Frame Relay e linhas privativas, todos significantemente mais complicados e com custo mais elevado.

Atualmente, os mais importantes serviços demandados pela área corporativa e que mais tem crescido são a interconexão das redes LAN geograficamente distribuídas e a conectividade com a internet. Em face a estes serviços e à crescente exigência do mercado por baixos custos, as operadoras de serviços se deparam com a necessidade de readequar suas redes metropolitanas, sendo as redes Metro Ethernet uma escolha de destaque tanto pelo aspecto técnico quanto pelo econômico.

Uma Rede Metro Ethernet (MEN – Metropolitan Ethernet Network) é definida basicamente como uma rede que interconecta LANs corporativas geograficamente separadas, interconectando-se ainda a uma rede WAN ou backbone operados pelo provedor de serviços, conforme ilustrado na Figura 1.

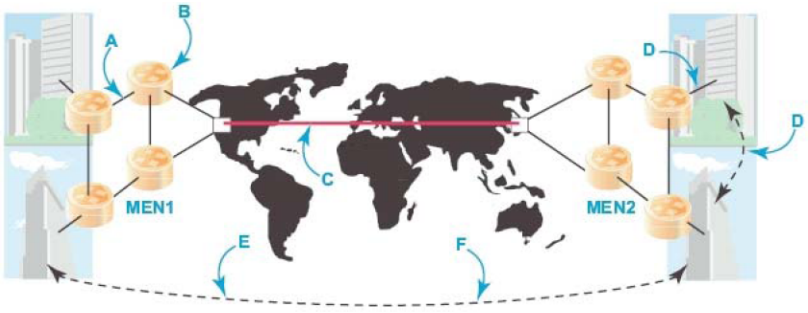


Figura 1: Rede Metro Ethernet

As principais vantagens de uma rede Metro Ethernet são:

- Redução do custo operacional e de planejamento da rede, o qual é significativamente menor que para redes comutadas tradicionais.

- Equipamentos de menor custo; a economia de escala oriunda da base de equipamentos Ethernet instalada leva à redução do custo dos insumos, assim como à redução dos custos de desenvolvimento.

- Melhor granularidade e facilidade de aumento de banda, em comparação às redes de circuito comutado (E1/T1, E3/T3, SDH/SONET), permitindo, por exemplo, o aumento da banda do assinante de 1Mbps a 1Gbps, em passos de 1Mbps.

- Transmissão baseada em pacotes, o que permite um uso otimizado dos recursos da rede quando comparado com transmissão baseada em circuitos.

- Interoperabilidade com as redes LAN; permite a interconexão direta com as redes LAN, sem a necessidade de protocolos de adaptação, uma vez que praticamente a totalidade das redes LAN é baseada em Ethernet.

2. Arquitetura

O Metro Ethernet Fórum utiliza um modelo genérico para descrever os componentes internos e externos de uma rede Metro Ethernet. Esta estrutura descreve as interações entre a rede Metro Ethernet através de interfaces bem definidas e seus pontos de referência. O modelo básico de referência de uma rede Metro Ethernet é mostrado na Figura 2.

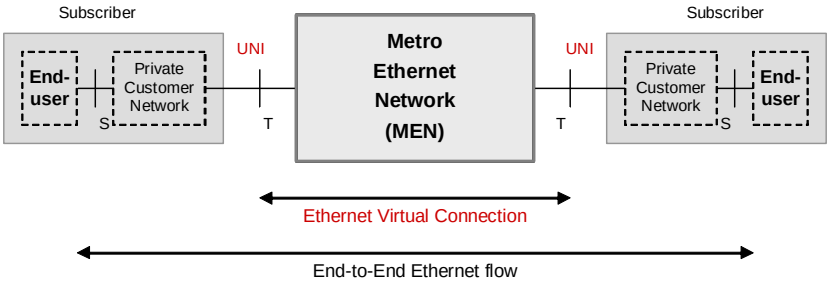


Figura 2: Modelo básico de referência

O fluxo Ethernet (Ethernet flow) mostrado representa o tráfego de dados fim-a-fim entre dois equipamentos terminais, os quais originam e terminam os quadros Ethernet. A interface que interliga a rede de um cliente à rede de um provedor de serviços é denominada de UNI (User Network Interface). Do lado do cliente é chamada de UNI-C (User Network Interface Client) e do lado do provedor de serviços é denominada de UNI-N (User Network Interface Network).

Uma conexão Ethernet virtual (EVC – Ethernet Virtual Connection) é um dos conceitos mais importantes em redes Metro Ethernet. Uma EVC pode ser considerada como uma instância da associação de duas ou mais UNIs, com o objetivo de transportar um fluxo de dados entre dois ou mais clientes, através de uma rede Metro Ethernet. Os EVCs ajudam a visualizar o conceito de conexões e podem ser comparados ao conceito dos PVCs, no ATM. Existem dois tipos de EVCs definidos pelo MEF; o ponto-a-ponto (E-LINE) e o multiponto-multiponto (E-LAN), conforme ilustrado na Figura 3.

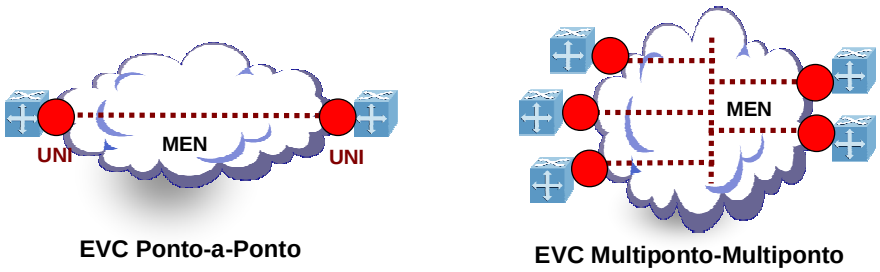


Figura 3: Arquitetura Metro Ethernet ponto-a-ponto e multiponto-multiponto

3. Serviços Ethernet

Os três principais fatores que motivam os provedores de serviços e os clientes a optarem por serviços Ethernet são os seguintes:

- Facilidade de uso: os serviços Ethernet são fornecidos através de uma interface padrão altamente conhecida e entendida, simplificando com isso a interconexão, operação, administração e gerenciamento da rede.

- Baixo custo: a alta disponibilidade e produção em alta escala dos equipamentos, com conseqüente redução de custos. Clientes não necessitam trocar equipamentos para se conectar a rede. Muitos serviços Ethernet permitem o cliente adicionar banda em passos de 1Mbps fazendo com que o mesmo pague somente o que usa.

- Flexibilidade: com os serviços Ethernet gerenciados, o cliente está apto a modificar a banda em minutos ou horas, ao invés de dias ou semanas, como quando usando outras redes. A necessidade de visita de suporte técnico do provedor de serviços fica reduzida. Múltiplos serviços em uma única interface de serviços Ethernet permitem que pequenos clientes passem a usufruir de maior flexibilidade de interconexão de suas redes com clientes e fornecedores.

O modelo básico para o fornecimento dos serviços Ethernet é mostrado na Figura 4. O serviço Ethernet é disponibilizado pelo provedor de serviços através de uma rede Metro Ethernet. O equipamento do cliente (CE = Customer Equipment) se interconecta à rede através da interface UNI usando uma interface Ethernet padrão 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps ou 10Gbps.

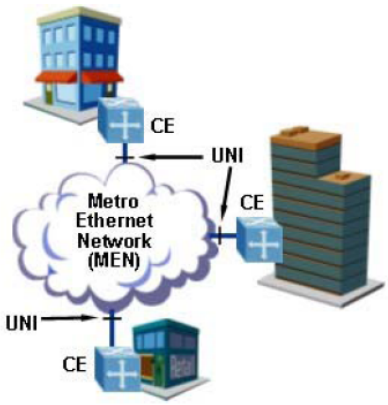
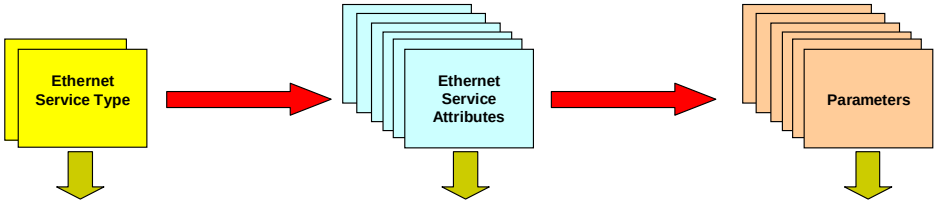


Figura 4: Modelo básico

Os serviços Ethernet são definidos em uma estrutura que ajuda os clientes a visualizarem e entenderem melhor os serviços Ethernet disponibilizados. Os objetivos dessa estrutura são basicamente definir um nome padrão para os tipos de serviços Ethernet, seus atributos e parâmetros.

A Figura 5 mostra os dois serviços Ethernet atualmente definidos pelo MEF, bem como um resumo de seus atributos e parâmetros. Na seqüência são resumidos dois dos principais atributos.



Tipo de Serviço	Atributos	Parâmetros
(1.) Serviço Ponto a Ponto Ethernet Line (E-Line)	Physical interface	100Mbps, 1Gbps, 10 Gbps.
	Traffic Parameters (Bandwidth profile)	CIR, CBS, EIR, EBS
	Performance Parameters	Dispon., perda, atraso e jitter.
	Class of Service (CoS)	Port, 802.1p, Diffserv/IP TOS
(2.) Serviço Multiponto-Multiponto Ethernet LAN (E-LAN)	Service Frame Delivery	Uni, Multi ou Broadcast
	VLAN tagging support	Preservação dos Tags
	Service multiplexing	Múltiplos EVCs por UNI
	Bundling (Um ou mais CE-VLAN a um EVC)	Associa VLANS a EVC-ID
	Security filters	Parâmetros dos filtros

Figura 5: Serviços Ethernet

3.1 Parâmetros de Tráfego (Bandwidth Profile)

O *Bandwidth Profile* especifica o limite da taxa média de quadros de serviços Ethernet que podem entrar na rede do provedor de serviços através de uma UNI. O MEF tem definido três atributos de *Bandwidth Profile*, conforme mostrados na Figura 6 e a seguir descritos.

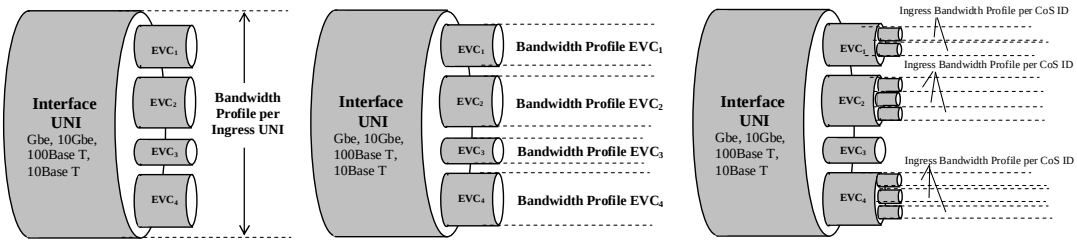


Figura 6: Atributos de Bandwidth Profile

- Perfil por UNI: aplica-se para todos os quadros de serviço que entram na rede do provedor através da UNI.

- Perfil por EVC: aplica-se para todos os quadros de serviço que passam por um determinado EVC dentro da UNI.

- Perfil pelo identificador CoS: aplica-se a todos os quadros de serviço dentro de um EVC identificados pelos bits de prioridade da marcação (*tag*) de VLAN IEEE 802.1p do cliente.

Cada atributo de *Bandwidth Profile* definidos acima, consiste de quatro parâmetros de tráfego que definem a vazão (*throughput*) fornecida pelo serviço. Os parâmetros de tráfego são os seguintes:

- CIR (*Committed Information Rate*): taxa média garantida e de acordo com os objetivos de desempenho contratados (por exemplo: *jitter*, atraso, etc.) e especificados em um SLA (*Service Level Agreement*).

- CBS (*Committed Burst Size*): definido como o número máximo de bytes permitidos para os quadros de serviços que entram, sendo ainda contados dentro do CIR.

- EIR (*Excess Information Rate*): taxa média, excedente ao CIR, para a qual os quadros de serviços são entregues sem nenhuma garantia de desempenho.

- EBS (*Excess Burst Size*): definido como o número máximo de bytes permitidos para os quadros de serviços que entram, sendo ainda contados dentro do EIR.

Um meio prático de descrever ou marcar os quadros de serviços quando sua taxa média está conforme ou não ao perfil definido, é através do uso de cores. Os quadros de serviço verdes são os que estão de acordo com o SLA contratado e geralmente não podem ser descartados. Os quadros de serviço amarelos são os que não estão de acordo com o SLA contratado, mas que tipicamente não são imediatamente descartados. Os quadros de serviços vermelhos também não estão de acordo com os objetivos de desempenho contratados e são imediatamente descartados.

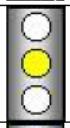
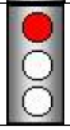
Conformance	Color	Service Frame Delivery
CIR Conformant		Service Frames green and delivered per the performance objectives specified in the SLA/SLS.
EIR Conformant		Service Frames are yellow and may be delivered but with no performance assurances.
None		Service Frames are red and dropped.

Figura 7: Marcação dos quadros de serviço através de cores

A especificação do valor do CBS vai depender do tipo de aplicação ou tráfego que se deseja suportar. Por exemplo, para serviços destinados a suportar picos de transferência de dados TCP, o CBS deve ser muito maior que em aplicações VoIP, onde a taxa é mais constante.

3.2 Identificadores de Classes de Serviços (CoS)

As redes Metro Ethernet devem oferecer diferentes classes de serviço (CoS) para os clientes, identificados por meio de:

- Porta Física: nesse caso uma única classe de serviço pode ser fornecida.

- CE-VLAN CoS (802.1p): a classe de serviço é identificada pelos bits de prioridade do *tag* de VLAN do cliente. Nesse caso, o SLA deve especificar o *Bandwidth Profile* e os parâmetros de desempenho para cada classe de serviço.

- DiffServ / IP TOS: o segundo byte do cabeçalho IP pode ser usado para definir classes de serviço. Para o caso do TOS, até 8 classes podem ser definidas. No caso do Diffserv, capacidades mais robustas de QoS podem ser fornecidas através do padronizados PHBs (*Per-Hop Behaviors*).

O provedor de serviços vai utilizar um desses identificadores para, por exemplo, separar um tráfego que estará sujeito a um determinado CIR. A Tabela 1 mostra um exemplo de SLA baseado em CoS para rede Metro Ethernet.

Service Class	Service Characteristics	CoS ID	Bandwidth Profile per EVC per CoS ID	Service Performance
Premium	Real-time IP telephony or IP video applications	6, 7	CIR > 0 EIR = 0	Delay < 5ms Jitter < 1ms Loss < 0.001%
Silver	Bursty mission critical data applications requiring low loss and delay (e.g., Storage)	4, 5	CIR > 0 EIR ≤ UNI Speed	Delay < 5ms Jitter = N/S Loss < 0.01%
Bronze	Bursty data applications requiring bandwidth assurances	3, 4	CIR > 0 EIR ≤ UNI Speed	Delay < 15ms Jitter = N/S Loss < 0.1%
Standard	Best effort service	0, 1, 2	CIR=0 EIR=UNI speed	Delay < 30ms Jitter = N/S Loss < 0.5%

Tabela 1: Exemplo de SLA baseado em CoS

3. Carrier Ethernet

O conceito de Carrier Ethernet significa prover serviços através de uma rede Metro Ethernet Global com a mesma qualidade de serviços encontrada nas redes comutadas tradicionais (ATM, frame relay, etc.), tentando, contudo, manter o mesmo grau de simplicidade e baixo custo típicos das redes LAN Ethernet padrões.

O Metro Ethernet Forum trabalha em cima de cinco atributos que diferenciam uma rede Carrier de uma rede LAN comum. Os cinco atributos são os seguintes:

- **Qualidade dos Serviços (QoS)**

- Garantir um desempenho determinístico do tráfego com qualidade similar ao das redes comutadas tradicionais.

- Vários níveis de qualidade de serviço (SLAs) que permitam fornecer performance fim-a-fim capaz de suprir todos os requisitos para o transporte de voz, dados e vídeo, tanto para empresas quanto para clientes residenciais.

- **Confiabilidade**

- Capacidade da rede de detectar e se recuperar de falhas, com tempo de recuperação inferior a 50ms, sem causar impacto para os usuários

- Proteção de caminho fim-a-fim.

- **Escalabilidade**

- Capacidade de suportar mais de 100.000 clientes, servindo com isso áreas metropolitanas e regionais.

- Escalabilidade de banda a partir de 1Mbps até 10Gbps em incrementos com baixa granularidade.

- **Gerenciamento de Serviços**

- Capacidade de monitorar, diagnosticar e centralizar a gerência da rede, usando padrões que não sejam dependentes de um fornecedor.

- Configuração rápida e fácil da rede para esta suportar novos serviços.

- **Serviços Padronizados**

- Serviços globais, via equipamentos padronizados.

- Não requer modificações nos equipamentos LAN dos usuários ou da rede, permitindo conectividade com as redes existentes, como por exemplo, a rede TDM.

4. Aspectos básicos de QoS

A qualidade de serviços é obtida pela combinação de técnicas que tem por objetivo garantir níveis de confiabilidade compatíveis com as necessidades dos clientes. Da perspectiva da rede do cliente, o QoS é visto como uma especificação técnica e operacional de nível de serviço (SLS - *Service Level Specification*), o qual comercialmente é denominado de SLA (*Service Level Agreement*).

Uma das características do protocolo Ethernet é prover a cada usuário um acesso compartilhado e semelhante à rede, de forma que haja uma mínima implementação nos equipamentos da mesma. Isso é bom para uma ambiente LAN; porém para usar o Ethernet para prover serviços diferenciados, os provedores de serviços precisam de alguma maneira separar o tráfego dos clientes em redes privadas.

Em redes LAN, isso não é novidade, o tráfego entre departamentos é separado através do uso de LANs virtuais (VLANs). Cada VLAN é identificada por um *tag* (12 bits) adicionado após o cabeçalho MAC, como definido pelo padrão IEEE 802.1Q. Em uma rede Metro Ethernet, o provedor de serviços também tem a necessidade de separar o tráfego de seus clientes em redes separadas.

Vários padrões têm sido propostos para permitir uma melhor hierarquização do tráfego dentro das redes Metro Ethernet, assim como facilitar a atribuição de QoS. Entre esses, destacam-se o IEEE 802.1ad e 802.1ah, que estão em fase de padronização, e o PBT, que ainda está sendo proposto. Estes padrões são descritos a seguir.

5. Provider Bridge (PB) ou Q-in-Q

A utilização de VLANs é uma forma simples e segura de assegurar isolamento de tráfego dentro da rede. O padrão 802.1Q define o seu funcionamento, sendo que a cada VLAN é atribuído um identificador (VLAN-ID). Este conceito já é largamente utilizado pelas LANs existentes. Esta seria uma alternativa natural para as redes Metro Ethernet proverem isolamento de tráfego entre os diversos clientes. Porém, a utilização do 802.1Q em redes Metro Ethernet esbarra no problema da quantidade e administração dos VLAN-IDs. O operador de serviços não tem como gerenciar e assegurar que cada cliente utilize um VLAN-ID diferente dentro da rede metropolitana. Outra questão é que o número máximo de VLAN-IDs é de 4096, sendo este número limitado para as dimensões de uma rede metropolitana,

além do fato de limitar o cliente na criação de suas próprias VLANs internas, o que não é aceitável.

Para solucionar esta questão, foi criado o conceito de tunelamento de VLANs (802.1ad – *Provider Bridge, Stacked* VLAN, VLAN *Tunneling*, QinQ). O tunelamento de VLAN trata-se de um mecanismo simples, no qual uma VLAN (C-VLAN – *Customer* VLAN) é encapsulada (tunelada) dentro de outra VLAN (S-VLAN – *Service* VLAN), conforme a Figura 8. Este tunelamento permite uma completa separação do tráfego do cliente. Desta forma, o cliente tem total liberdade de gerenciar suas C-VLANs. O provedor tem à sua disposição até 4096 S-VLANs, suportando até 4k clientes/serviços.

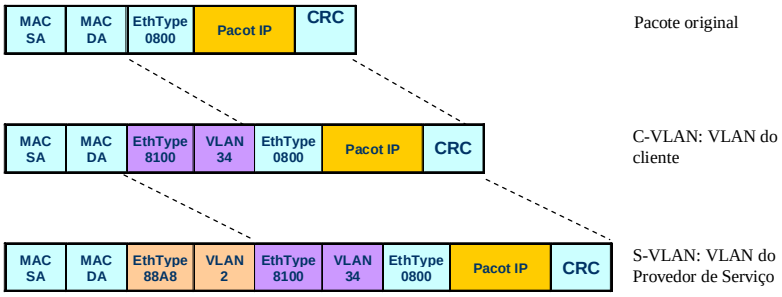


Figura 8: Exemplo de tunelamento: VLAN 34 dentro da VLAN 2

O formato do cabeçalho do 802.1ad é similar ao do 802.1Q, conforme mostrado na Figura 9. A implementação da S-VLAN se dá acrescentando 4 bytes ao cabeçalho Ethernet: após os campos de MAC de origem e destino, são inseridos 2 bytes correspondentes ao EtherType de S-VLAN (88A8 Hex) e dois bytes correspondentes ao TCI (*Tag Control Information*). Diferentemente do 802.1Q, o bit 4 do primeiro byte do campo TCI, passa a ser chamado de DEI (*Drop Eligeble Indicator*). A combinação dos 3 bits de prioridade mais o bit DEI formam o conceito de PCP (*Priority Code Point*), que é utilizado dentro da rede como parâmetro de descarte ou não de pacotes.

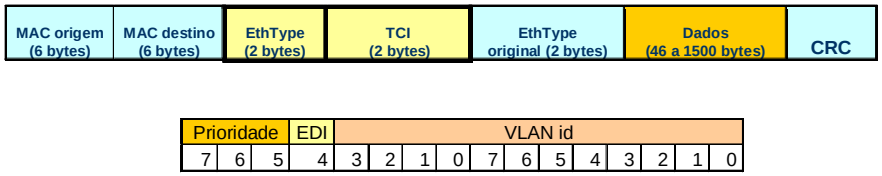


Figura 9: Formato do quadro 802.1Q

Devido à inserção ou remoção destes 4 bytes do cabeçalho, o 802.1ad exige o recálculo do checksum do campo CRC do quadro Ethernet.

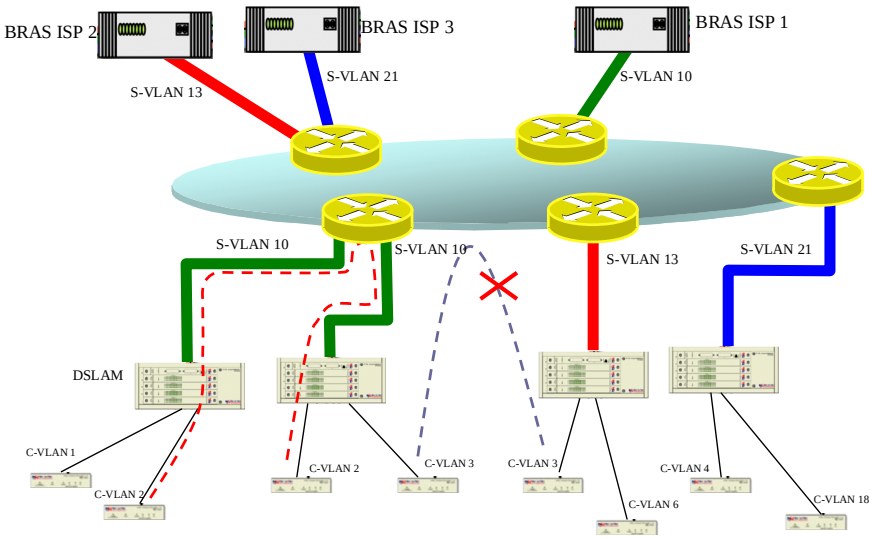


Figura 10: Cenário ADSL com QinQ

A

Figura 10 mostra um cenário de utilização de tunelamento de VLANs, onde a cada assinante ADSL é atribuída uma C-VLAN; assim, um assinante não tem acesso aos dados de outro assinante. Estas C-VLANs são então tuneladas até o respectivo BRAS, através de uma S-VLAN, com cada S-VLAN recebendo um VLAN-ID do respectivo ISP, na rede Metro Ethernet. Assim, os tráfegos dos ISPs 1, 2 e 3 são isolados.

6. Provider Backbone Bridge (PBB) ou MinM

Com o QinQ, o provedor de serviços tem à sua disposição até 4096 S-VLANs, mas este número é considerado limitado em termos de rede metropolitana, face à crescente demanda do mercado. Aliado a isto, surge o problema do tamanho das tabelas de roteamento que os switches da rede Metro Ethernet têm que manter, pois estas se tornam gigantescas. Os switches da Metro Ethernet têm que aprender todos os MACs contidos em todas a S-VLANs que trafegam pelos mesmos, o que pode corresponder a centenas de milhares de endereços MAC, implicando em maior tempo de busca nas tabelas de roteamento, assim como maior quantidade de memória para armazenar estas tabelas; isto acarreta um maior custo dos equipamentos.

O MinM (802.1ah - *Provider Backbone Bridging*, MAC-in-MAC) é um padrão que está sendo criado para resolver este problema. No MinM, os pacotes da S-VLAN são encapsulados por um novo cabeçalho, o qual contém um novo MAC (B-MAC – Backbone MAC). Desta maneira, os switches intermediários na rede Metro Ethernet não precisam mais aprender todos os MACs de uma determinada S-VLAN, mas apenas os MACs (B-MACs) pertencentes á rede do provedor de serviços. Os pacotes oriundos de uma S-VLAN são acrescidos deste cabeçalho ao entrarem no backbone e na outra ponta, quando deixam o backbone, o cabeçalho é removido. A Figura 11 ilustra este conceito.

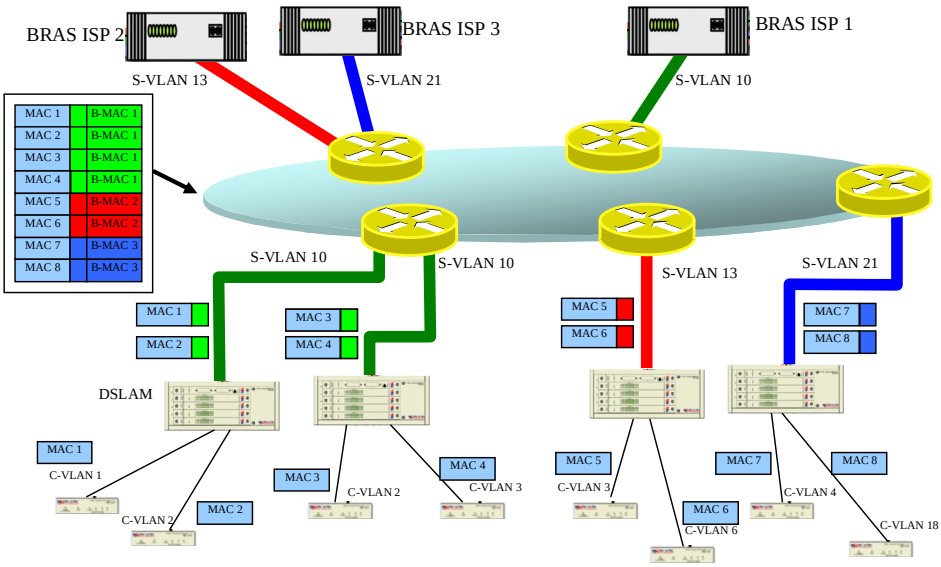


Figura 11: Cenário ADSL com QinQ e MinM

Os pacotes oriundos de uma S-VLAN ou de uma C-VLAN que ingressam no backbone são acrescidos de um cabeçalho MAC, uma marcação de VLAN do backbone e uma marcação de serviço estendida, conforme ilustrado na Figura 12.

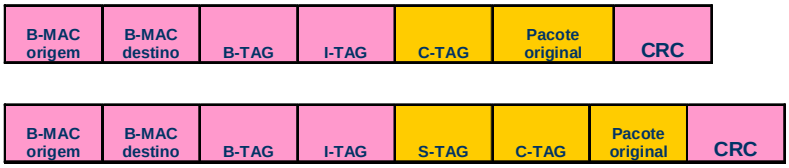


Figura 12: Formato do quadro 802.1ah

- B-TAG: marcação do Backbone, que carrega o VLAN-ID (B-VID) do backbone. Esta marcação pode ser suprimida.

- I-TAG: marcação de serviço estendido, com 3 bits para prioridade, 1 bit para elegibilidade de descarte (EDI), 2 bits (RES1) reservados para uso futuro, 2 bits (RES2) também reservados para uso futuro, 24 bits (I-SID) para identificar o serviço. O campo I-SID é usado para identificar o tipo de usuário/serviço, definindo um EVC, sendo possível ter até 16M diferentes EVCs, resolvendo o problema de escalabilidade.

As principais vantagens do MinM são:

- Segurança: devido a haver uma clara fronteira entre os serviços do cliente e do provedor de serviços, não existe a necessidade do conhecimento do esquema de endereçamento de ambas as partes. O provedor somente comuta pacotes com endereçamento administrado pelo provedor, aumentando a segurança da rede, serviços e aplicações.

- Operação simplificada: o provedor de serviços pode planejar sua rede sem se preocupar com conflitos de VLAN-IDs ou endereços MAC de seus clientes.

- Menor custo: os switches intermediários da rede do provedor de serviços apenas precisam aprender os endereços B-MAC dos switches da rede do provedor, e não mais os MACs de todos os clientes, implicando em menos memória e processamento dos equipamentos, levando a uma redução de custo.

- Resolve o problema de escalabilidade, provendo até 16M de usuários/serviços.

6. PBT (Provider Backbone Transport)

O conceito de *Provider Backbone Trasnport* (PBT), de forma similar ao PBB, está surgindo para atender as limitações de escalabilidade e confiabilidade. O PBT pode ser usado no lugar do PBB ou ainda rodar em paralelo a este, na rede. Em ambos os casos, o PBT elimina a necessidade dos switches do backbone de fazerem *learning* e *flooding*. Ao invés disso, o PBT propicia túneis ponto-a-ponto entre localidades distribuídas.

Atualmente, os switches Ethernet encaminham pacotes baseados em uma tabela de encaminhamento de 60 bits que inclui a marcação de VLAN (VID - 12 bits) e o endereço MAC (48 bits). Quando um endereço de destino não é conhecido, o switch faz um broadcast para todas as portas contidas no domínio de broadcast (VLAN) e, ao vir a resposta por uma determinada porta, o switch associa este MAC destino à essa porta e registra a informação em sua tabela de encaminhamento. A partir de então, todo o tráfego para aquele VID/MAC é encaminhado por aquela porta do switch.

O princípio do PBT é justamente desabilitar as funcionalidades do Ethernet relacionadas ao broadcast, quando um dado destino não é conhecido. No conceito do PBT, o VID não é mais usado como um domínio de broadcast, mas, em conjunto com o endereço MAC, é usado para indicar um caminho único dentro da rede do operador de serviços. Isto resulta em um caminho pré-determinado dentro da rede e com características totalmente previsíveis. No restante, os switches irão continuar funcionando como antes, ou seja, encaminhando dados para um destino, baseado em uma tabela de encaminhamento.

No PBT, a alocação da faixa de endereços VID/MAC na tabela de encaminhamento é feita via gerência ou plano de controle ao invés do tradicional *flooding* e *learning*.

Com o PBT, os problemas inerentes ao STP e MSTP não existem mais. O operador da rede pode correlacionar um VID (ex. VID-35) com um caminho principal na rede e outro VID (ex. VID 36) com um caminho de proteção. Assim, com o caminho principal ativo, os pacotes do cliente que chegam ao roteador de borda são encapsulados em um B-MAC_cliente e com VID_35. Ao ocorrer uma falha no caminho principal, o roteador de borda simplesmente passa a encapsular os pacotes com o B-MAC_cliente e com o VID_36, com os pacotes simplesmente passando a serem encaminhados pelo caminho de proteção. A proposta de monitoração do estado da conexão é utilizar o protocolo 802.1ag (Gerenciamento de Falha de Conexão). Uma sessão de conectividade (Connectivity Check –CC) é estabelecida em ambos os caminhos. Ambas as pontas do enlace enviam mensagens CC em intervalos regulares de 10ms (configurável) e ouvem as mensagens que chegam da outra ponta. Se três mensagens CC não chegarem, o enlace é considerado com falha e o caminho de proteção é ativado. Assim, mecanismos de proteção com tempos inferiores a 50ms (padrão do SDH/SONET) são possíveis.

O formato do cabeçalho Ethernet é o mesmo do PBB, sendo a diferença apenas na interpretação lógica de encaminhamento que o switch deve fazer.

As vantagens do PBT são as mesmas do PBB, com as seguintes diferenças:

- No PBT, os roteadores de borda do operador de serviços não precisam aprender os endereços MAC dos clientes, permitindo assim, uma ainda menor redução de custo dos equipamentos.

- Robustez: a rede do provedor torna-se mais robusta por se tornar isolada de tempestades de *broadcast* e possíveis *loops* criados pela rede do cliente.

- Não propicia o serviço de E-LAN, uma vez que o PBT é ponto-a-ponto. Porém, este serviço pode ser feito nas premissas do cliente, com este fazendo a separação do tráfego para cada localidade remota em distintas VLANs. Assim, túneis PBT ponto-a-ponto podem ser criados para interconexão a cada uma destas localidades.

- Mecanismo de proteção simplificado e mais rápido.

O PBT é um padrão ainda sendo proposto, porém com forte tendência de ser padronizado.

7. Conclusão

As redes Metro Ethernet têm se mostrado um mercado crescente e promissor. A maioria dos provedores de serviço ou já implementam ou estão desenvolvendo/investigando o seu uso. Para atender às exigências de QoS e baixo custo exigidos pelo mercado, novos protocolos estão sendo padronizados, tais como QinQ e MinM, ou propostos, como o PBT, atribuindo à rede Metro Ethernet QoS e segurança similares às redes de circuitos, com as vantagens de uma rede de pacotes.

References

IEEE Computer Society, LAN/MAN Standards Committee, IEEE 802.1Q, Standard for Local and Metropolitan Area Networks – "Virtual Bridges Local Area Network", edição 2006.

IEEE Computer Society, LAN/MAN Standards Committee, IEEE 802.1ad/D6.0, Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks – "Virtual Bridged Local Area Networks - Amendment 4: Provider Bridges", ago. 2005.

IEEE Computer Society, LAN/MAN Standards Committee, IEEE P802.1ah/D3.20, Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks – "Virtual Bridged Local Area Networks - Amendment 6: Provider Backbone Bridges", nov. 2006.

IEEE Computer Society, LAN/MAN Standards Committee, IEEE P802.1ag/D6.9, Draft Standard for Local and Metropolitan Area Networks – "Virtual Bridged Local Area Networks - Amendment 5: Connectivity Fault Management", jul. 2006.

Metro Ethernet Forum – Technical Specification MEF 10, Ethernet Service Attributes Phase 1, November 2004, em http://www.metroethernetforum.org/, dez. 2006.

Metro Ethernet Forum, Metro Ethernet Services – A Technical Overview, 2003, Rolf Sanitoro, disponível em http://www.metroethernetforum.org/, dez. 2006.

Metro Ethernet Forum, Bandwith Profiles for Ethernet Services, Rolf Sanitoro, disponível em http://www.metroethernetforum.org/, agosto 2006.

Allan, D., Bragg, N., McGuire A. and Reid A. Ethernet as Carrier Transport Infrastruture, **IEEE Communication Magazine**, February 2006, p. 134-140.

World Wide Packets, Carrier Ethernet: Its Attributes and Opportunities, 2005, disponível em http://www.worldwidepackets.com/, dez. 2006.