



**UNIVERSIDADE SALVADOR – UNIFACS
NÚCLEO DE PESQUISA INTERDEPARTAMENTAL EM REDES DE
COMPUTADORES (NUPERC)
MESTRADO EM REDES DE COMPUTADORES**

MARCOS PORTNOI

PRISCILLA SANTOS MORAES

**ETHERNET NA PRIMEIRA MILHA (IEEE 802.3ah): ESTUDO
DA TOPOLOGIA PONTO A MULTIPONTO**

**Salvador – BA
2005**

ETHERNET NA PRIMEIRA MILHA (IEEE 802.3ah): ESTUDO DA TOPOLOGIA PONTO A MULTIPONTO*

Marcos Portnoi**

Priscilla Santos Moraes***

Orientador: Prof. William F. Giozza****

Resumo

A conexão entre os usuários finais e os provedores de conexão a redes, como a Internet, ainda funciona como o grande gargalo de velocidade. Várias tecnologias foram propostas para atacar a limitação desta conexão (conhecida como primeira milha), como xDSL e *cable modems*. Com o estabelecimento do padrão IEEE 802.3ah EFM, disponibiliza-se três diferentes topologias para a primeira milha que utilizam cobre ou fibra ótica, nas modalidades ponto-a-ponto ou ponto-a-multiponto. Este artigo visa estudar a topologia ponto-a-multiponto (P2MP) com rede ótica passiva compartilhada do padrão IEEE 802.3ah EPON e seu protocolo de controle MPCP, além de abordar de forma geral outros aspectos do padrão.

Abstract

The link between end users and network service providers (known and *first mile*), such as Internet providers, still acts as the great bottleneck for speed. Several technologies have been proposed to deal with this limitation, for instance, xDSL and cable modems. With the ratification of the IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile standard, three network topologies for the first mile are available, using copper or optical fiber, either point-to-point or point-to-multipoint. This article intends to study the point-to-multipoint (P2MP) topology with passive optical network from the IEEE 802.3ah EPON standard and its related MPCP control protocol, and also give a view of other aspects of the ratified standard.

Palavras-Chave: IEEE 802.3ah EFM, primeira milha, Ethernet na primeira milha, fibra ótica compartilhada, ponto-a-multiponto, P2MP, Ethernet Passive Optical Network, EPON, Multi-Point Control Protocol, MPCP.

Keywords: IEEE 802.3ah EFM, first mile, Ethernet in the First Mile, shared optical fiber, point-to-multipoint, P2MP, Ethernet Passive Optical Network, EPON, Multi-Point Control Protocol, MPCP.

* Artigo elaborado para a disciplina Redes de Alta Velocidade no Mestrado em Redes de Computadores pela Universidade Salvador – UNIFACS.

** Mestrando em Redes de Computadores e Engenheiro Eletrônico pela Universidade Salvador – UNIFACS.

*** Mestranda em Redes de Computadores e Bacharela em Ciências da Computação pela Universidade Salvador – UNIFACS.

**** Doutor em Ciências da Computação pela Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB e Engenheiro Eletrônico pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA.

Introdução

O padrão de redes de computadores conhecido como Ethernet primeiro emergiu como uma tecnologia de difusão para redes locais (LAN – *Local Area Networks*). O protocolo envolvido é do tipo “melhor esforço”, o que permite tolerância a falhas ocasionais nos quadros, falhas estas causadas por colisões (uma vez que o meio utilizado é compartilhado por todos os dispositivos de rede) ou ruído. Apesar de, nativamente, o Ethernet não prover qualquer tipo de Qualidade de Serviço (QoS – *Quality of Service*), suas características de fácil configuração, alta escalabilidade, custo e suporte a uma larga gama de serviços (incluindo dados, vídeo e voz) garantiram sua adoção global [1]. Com o advento da Internet, o padrão Ethernet tornou-se virtualmente onipresente.

Os *backbones* atuais da Internet suportam velocidades de transferência na ordem de dezenas de gigabits, o suficiente para transmissão de vídeo em tempo real. A Internet, entretanto, é melhor enxergada como uma rede de redes, onde cada rede individual possui suas próprias características de velocidade de transferência. Esta propriedade dificulta a garantia de QoS ponto-a-ponto. O local onde geralmente são encontradas as menores velocidades de transferência na Internet são nas conexões dos usuários finais ao provedor de serviço ou provedor de conexão. Esta conexão entre usuário final e provedor é comumente denominada “*loop* ou enlace local (*local loop*)”, “acesso metropolitano (*metro Access*)”, “última milha (*last mile*)” ou “primeira milha (*first mile*)”. É esta primeira milha que age como um gargalo de velocidade para os serviços que se quer prestar ao usuário consumidor.

É importante notar que esta conexão de primeira milha não se limita à conexão de um usuário final com um provedor de acesso à Internet. Ela também considera a conexão de um usuário ou assinante de qualquer serviço de redes de comutação de pacotes, como uma rede metropolitana, em um campus ou corporativa. Nestas redes geralmente há um *backbone* de alta velocidade, com as conexões para os usuários finais bem mais lentas. A razão pela qual abordou-se o exemplo da Internet deve-se ao fato de que se falar em infraestrutura de redes de grande porte, sem considerar que estas redes tenham conexão com a Internet, é contraproducente.

Várias soluções têm sido utilizadas a fim de prover à primeira milha velocidades crescentes, o que se conhece pela denominação comercial de “acesso em banda larga” ou

“Internet em banda larga¹”. Tecnologias como xDSL, *cable modems* e rádio são as mais comumente empregadas, oferecendo velocidades de transmissão típicas da ordem de 128Kbps a 2Mbps para o usuário doméstico. Os principais problemas encontrados para o enlace entre o usuário final e o provedor são os gargalos de desempenho, limitações para aumento das velocidades, complexidade de configuração e custo [1]. O Ethernet apresenta uma alternativa viável para o atual estado da tecnologia, completando a idéia de “Ethernet ubíqua (*Ethernet Everywhere*)” [2].

Em junho de 2004, o Instituto dos Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE² – *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) – entidade de classe que reúne engenheiros e cientistas da computação de todo o mundo e responsável pela publicação de inúmeros padrões utilizados em engenharia e computação – aprovou o padrão denominado IEEE 802.3ah, que define protocolos e tecnologias para o Ethernet na Primeira Milha. As sub-áreas deste padrão abrangem ponto-a-ponto a cobre, ponto-a-ponto a fibra ótica, ponto-a-multiponto a fibra ótica e Operação, Administração e Manutenção (OAM – *Operation, Administration, and Maintenance*).

Neste artigo, apresentar-se-á uma visão do padrão IEEE 802.3ah e deter-se-á em detalhes da área de acesso ponto-a-multiponto, suas características e protocolos.

O Padrão IEEE 802.3ah

Para o uso do Ethernet na Primeira Milha, o padrão IEEE 802.3ah define basicamente as quatro sub-áreas a seguir:

- Ponto-a-ponto a fios de cobre;
- Ponto-a-ponto a fibra ótica;
- Ponto-a-multiponto a fibra ótica (EPON – *Ethernet Passive Optical Network*, ou Rede Ethernet Ótica Passiva);
- Operação, Administração e Manutenção (OAM).

¹ Observar que se trata aqui de uma denominação puramente comercial, pois a “banda larga” referida é puramente a conexão entre o usuário final e o provedor. Não há qualquer garantia de “banda larga” para a totalidade ou restante da Internet.

² <http://www.ieee.org>

Os três primeiros itens definem as três topologias de acesso para o assinante (usuário final) e as especificações para a camada física associadas. Para cobre, o padrão oferece acesso ponto-a-ponto (P2P – *point-to-point*) sobre pares de cobre do tipo usado em telefonia com velocidades típicas de 10Mbps para uma distância de até 750m entre o assinante e o provedor, ou 2 Mbps a uma distância máxima de 2,7Km entre assinante e provedor. Para fibra ótica, há a possibilidade de fibras monomodo ou multimodo usando uma ou duas fibras. Velocidades nesta topologia vão de 100Mbps a 1Gbps para distâncias na ordem de 10Km para fibras monomodo ou 550m para fibras multimodo. Na arquitetura ponto-a-multiponto (P2MP – *point to multipoint*), usa-se fibras monomodo em uma rede ótica passiva (EPON), com velocidade de 1Gbps para até 10Km ou 20Km [1, 5].

O padrão para as três topologias mencionadas trata prioritariamente das camadas física e de enlace. A Figura 1 ilustra a configuração destas camadas, conforme definido no padrão. A camada MAC (*Media Access Control* – Controle de Acesso ao Meio), do tipo *full-duplex*, liga-se a uma interface intermediária, opcional, chamada MII, ou *Media Independent Interface* (Interface Independente do Meio). A esta estão disponíveis quatro tipos de conexões físicas (da esquerda para a direita): (1) fibra ótica a 1Gbps; (2) fibra ótica a 100Mbps; (3) cobre; (4) fibra ótica ponto-a-multiponto via rede ótica passiva [4]. As siglas PHY e PMD significam, respectivamente, *PHYSical* (física, em referência ao meio) e *Physical Medium Dependent* (Dependente do Meio Físico), que se refere a uma subcamada cujas especificações dependem do meio físico utilizado (cobre ou ótico, por exemplo).

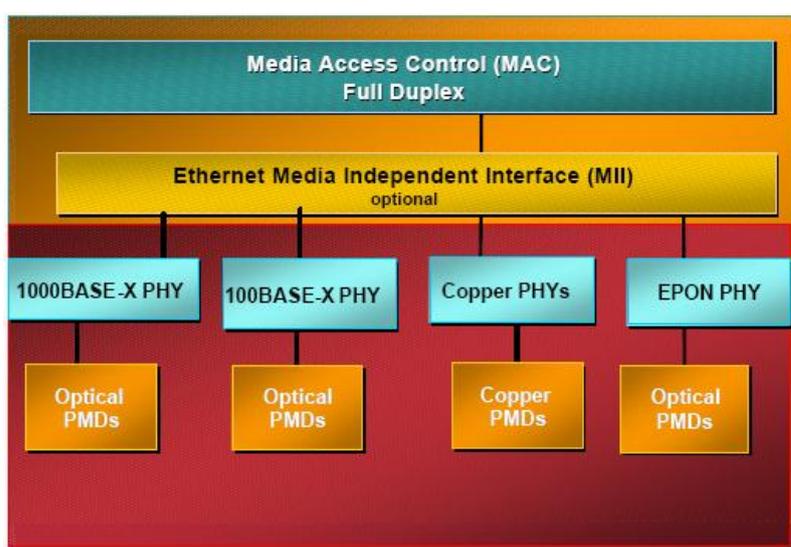


Figura 1: Diagrama de camadas do padrão IEEE 802.3ah [4].

Os mecanismos de monitoração da rede, como detecção de falhas, são provisionados pela sub-área de OAM. Pacotes são trocados entre os equipamentos dos usuários e do provedor contendo informações, notificações de eventos e outros controles. Outras capacidades podem ainda ser adicionadas por fabricantes, para uso específico de seus equipamentos [1].

Uma das principais desvantagens da topologia ponto-a-ponto com fibra ótica é a necessidade de instalar o cabeamento de fibra entre cada usuário final e o Escritório Central do provedor (CO – *Central Office*, ou o ponto ou edificação do provedor de onde saem as conexões para cada usuário final), o que obriga um custo mais alto para a infraestrutura. Este custo pode afastar o interesse de boa parte dos usuários finais na aquisição do provimento de acesso sob esta modalidade. Há também a opção de se utilizar uma única fibra partindo do CO para uma localidade onde se concentrem vários usuários finais. Esta fibra terminaria num *switch*, que então trataria de encaminhar a conexão para cada usuário individualmente através de outra fibra. A topologia ponto-a-multiponto utiliza uma fibra do CO até uma localidade de concentração dos usuários finais e daí, através de fibras individuais, para cada usuário.

A principal diferença entre a modalidade P2P usando um *switch* no ponto de concentração e a topologia P2MP é que a primeira usa o *switch* para distribuir o sinal da fibra vinda do CO para os usuários finais; no P2MP, usam-se *splitters* (divisores) óticos passivos para segmentar o sinal da fibra em feixes separados para cada assinante [5]. O *switch* recebe os sinais óticos vindos do CO ou dos usuários, converte-os para sinais elétricos¹ e perfaz processamento sobre eles ao nível da camada dois, de modo a obter o endereço MAC de destino dos quadros. De posse do destino, converte os sinais elétricos para sinais óticos e ilumina a fibra conectada na porta de saída correspondente ao destino correto. Desta maneira, as conexões de rede neste caso estão enxergando uma topologia ponto-a-ponto, pois uma fibra só recebe os sinais destinados ao equipamento nela conectado. Em adição, nesta topologia todos os usuários podem transmitir ao mesmo tempo sem risco de colisão, pois o *switch* isola os domínios de colisão e armazena os quadros em *buffers* quando o meio está momentaneamente ocupado.

Na estrutura P2MP, a fibra vinda do CO está conectada ao *splitter*, que divide o mesmo feixe de luz para diversos outros feixes, que prosseguirão em outras fibras. Assim,

¹ Existem também *switches* puramente óticos, que não fazem a conversão elétrica-ótica. O princípio de encaminhamento dos quadros somente para o destino correto, no entanto, é o mesmo.

todos estes feixes derivados encaminham precisamente *o mesmo sinal* vindo da fibra do CO, de modo que cada usuário individual enxerga o mesmo sinal que todos os outros na recepção. O *splitter* não faz qualquer tipo de processamento no sinal. Na transmissão a partir de um usuário, o sinal ótico caminhará por sua fibra individual e entrará na fibra com destino ao CO. Se outros usuários transmitirem ao mesmo tempo, seus sinais serão misturados pelo *splitter* e entrarão juntos na fibra com destino ao CO. Percebe-se, então, que se os usuários usam o mesmo comprimento de onda para transmitir, se houver transmissão concomitante, haverá colisão e perda de informação.

Na seção a seguir, tratar-se-á da topologia P2MP.

IEEE 802.3ah EPON

Uma rede ótica passiva (PON – *Passive Optical Network*) trata-se de uma única fibra ótica que é compartilhada com o uso de *splitters* ou divisores óticos, tipicamente de custo acessível. Estes *splitters* dividem o sinal ótico da fibra em feixes separados, que são por sua vez transportados através de fibras individuais para cada assinante ou usuário final. O uso do termo *passivo* explica-se porque, entre a conexão do CO e os usuários finais, não há nenhum equipamento eletrônico ativo dentro da rede (a exemplo de um *switch*) [5]. Somente uma conversão ótica-elétrica é necessária em cada ponto de terminação da fibra, basicamente uma no CO e uma no usuário final [6]. Assim, os usuários finais estão ligados via fibras dedicadas até o *splitter*, e daí compartilham uma única fibra até o CO.

No padrão IEEE 802.3ah, a rede ótica passiva PON é baseada no Ethernet, ao invés de outras tecnologias de PON baseadas em ATM. Daí ser chamada esta rede de EPON (*Ethernet PON*).

A Figura 2, extraída de [5], ilustra diferentes topologias que podem ser utilizadas com fibra para a conexão da primeira milha, a fim de ilustrar as vantagens da EPON. No desenho do alto da figura, 32 usuários finais estão ligados ao Escritório Central (CO) do provedor, cada um com uma fibra dedicada (ou ainda duas fibras para cada). Cada ponto de terminação da fibra requer o uso de um *transceiver*¹. Assim, para 32 nós, o mínimo número de *transceivers* necessários é de 64.

¹ Dispositivo eletrônico que perfaz as funções de transmissão e recepção de sinais, daí o nome *transceiver* (*TRANSmitter reCEIVER*, transmissor receptor). Se o dispositivo permitir as duas funções simultaneamente, este modo recebe o nome de *full-duplex*. Se o dispositivo só pode executar uma função de cada vez, o modo é

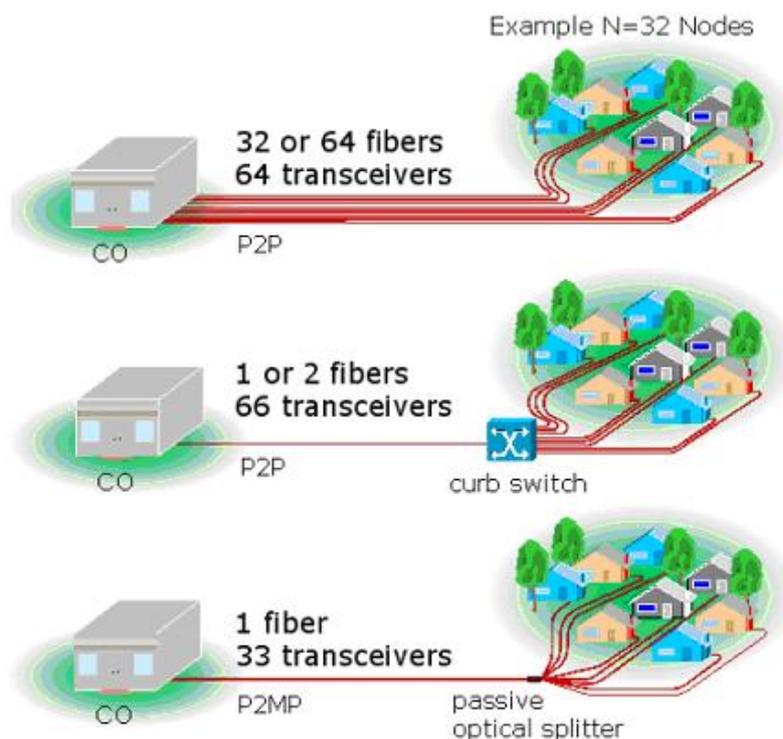


Figura 2: (do alto para baixo) Topologias óticas ponto-a-ponto com fibras individuais, ponto-a-ponto usando *switch* e ponto-a-multiponto EPON.

Na ilustração do meio da figura, uma topologia de fibra única saindo do CO e então distribuída através de um *switch*, do qual saem fibras individuais para cada assinante, pode ser vislumbrada. Uma ou duas fibras podem ser usadas na conexão entre o CO e o *switch*, também chamado de *curb switch* (*switch* de meio-fio), numa alusão à sua proximidade com os usuários finais. O número mínimo de *transceivers* nesta configuração, para os mesmos 32 usuários, será de 2 para cada usuário (1 no equipamento instalado no local do usuário e 1 no *switch*) e mais 2 para a fibra conectando o *switch* ao CO, num total de 66 *transceivers*. Aumenta-se o número de *transceivers* em relação à primeira configuração, mas diminui-se a quantidade de cabo ótico utilizado, visto que apenas uma fibra pode ser usada do CO até as proximidades do grupamento de usuários.

Na topologia EPON, identificada pela ilustração mais abaixo da Figura 2, uma fibra ótica sai do CO e é dividida para outras fibras individuais, que então caminham para os usuários, através de um *splitter* ótico passivo (ou seja, que não contém nenhum dispositivo eletrônico ativo para manusear os sinais óticos). Aqui, o número de *transceivers* será de 1

denominado *half-duplex* (este modo geralmente é requerido quando a transmissão e recepção usam o mesmo meio e a mesma frequência de sinal, pois caso contrário haveria interferência mútua na transmissão e recepção).

para cada usuário e 1 para o CO, uma vez que o *splitter* não faz conversão de sinal ótico-eletrônico. Um total, portanto, de 33 *transceivers*, o que representa uma economia em relação às duas configurações anteriores. A velocidade disponível em cada fibra individual pode ser a mesma da fibra-mestre, ligada ao CO. O padrão IEEE 802.3ah EPON especifica duas subcamadas PMD, usando comprimentos de onda para a luz de 1490 e 1310nm, para distâncias de até 10Km e de até 20Km [5].

A Rede e o Sistema EPON

Em sua construção, uma rede EPON inclui dois tipos de equipamentos, denominados OLT (*Optical Line Terminal – Terminal de Linha Ótica*) e ONU (*Optical Network Unit – Unidade de Rede Ótica*). O OLT permanece no Escritório Central (CO), e trata-se normalmente de um *switch* Ethernet. O ONU reside no local do usuário final, localizado em sua residência, no edifício ou ainda num armário no meio-fio. O ONU possui geralmente uma interface WAN tipo 802.3ah e também uma interface tipo 802.3 para ligação com o usuário assinante. A Figura 3 ilustra a rede, com um OLT à esquerda e diversos ONU's à direita, conectados à OLT através de um *splitter*.

A EPON funciona em modo *full-duplex*, ou seja, não necessita do protocolo CSMA/CD de acesso ao meio e detecção de colisão, inerente ao Ethernet. As ONU's enxergam somente o tráfego vindo do CO ou OLT, e não podem ver tráfego transmitido por outras ONU's através da fibra compartilhada (as ONU's filtram o tráfego não direcionado a elas através de protocolo, que será abordado mais adiante neste artigo). Se houver necessidade de conexão ponto-a-ponto entre duas ONU's, isto só pode ser feito por intermédio da OLT. Cada ONU transmite para a OLT em turnos, usando um protocolo de multiplexação de acesso por divisão de tempo (TDMA – *Time Division Multiplex Access*). Estes tempos de transmissão permitidos são controlados pela OLT através de protocolo, que será abordado adiante.

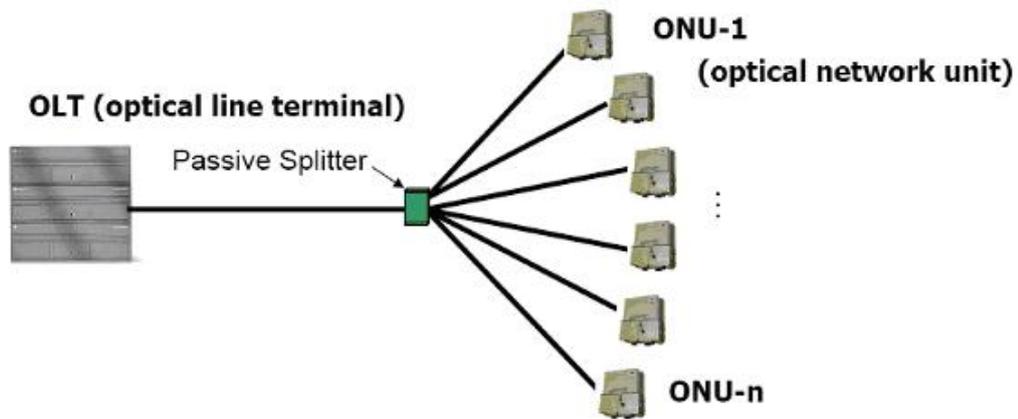


Figura 3: Rede EPON [7]

Para operação em modo *full-duplex*, os sistemas EPON multiplexam os sinais de transmissão da OLT para as ONU's (*downstream*) e das ONU's para a OLT (*upstream*) usando diferentes comprimentos de onda de luz: 1490nm para os sinais *downstream* e 1310nm para os sinais *upstream* [5].

A combinação de acessos ponto-a-multiponto e ponto-a-ponto numa mesma rede EPON está prevista na padronização.

Protocolo MPCP (*Multi-Point Control Protocol* – Protocolo de Controle Multiponto)

O protocolo MPCP é utilizado para controlar a rede EPON. Permite controlar a largura de banda usada por cada usuário, auto-descoberta (*auto-discovery*) e *ranging* (busca ou telemetria, numa tradução livre). É definido dentro da camada MAC, criando cinco novas mensagens de controle MAC de 64 bytes [9]:

- GATE, REPORT: estabelece e solicita largura de banda de transmissão;
- REGISTER_REG, REGISTER, REGISTER_ACK: usadas durante o processo de *auto-discovery*.

As seguintes características podem ser aplicadas ao MPCP [8]:

- Usa quadros Ethernet padrão;
- A OLT transmite os quadros Ethernet para as ONU's em *broadcast*;

- Cada ONU transmite em turnos, quando autorizadas expressamente através de quadros específicos enviados pela OLT;
- A OLT regula a largura de banda *upstream* designada a cada ONU através do controle do tamanho da janela de transmissão;
- Os quadros de controle são enviados na mesma conexão por onde trafegam os dados.

O processo de *auto-discovery* destina-se a descobrir a distância entre a ONU e a OLT (*ranging*), de modo a otimizar as temporizações e controles, determinação da largura de banda e do LLID (*Logical Link ID* – Identificação do *Link* Lógico) a serem usados pela ONU.

Na ONU, as etiquetas LLID são usadas para filtragem dos quadros recebidos. Se o quadro está marcado com uma LLID igual ao designado para a ONU, então ele é aceito. Caso contrário, é descartado. Há também quadros com LLID do tipo *broadcast*, ou seja, quadros com destino a todas as ONU's ao mesmo tempo. Quadros deste tipo são aceitos indistintamente [7].

A etiqueta LLID é embutida no preâmbulo dos quadros MAC pelo protocolo MPCP. Este preâmbulo de 8 bytes tem o seguinte formato (Figura 4):

- SOP (*Start of Packet* – Início do Pacote): 1 byte
- OAM, Msg, Reservado: 2 a 4 bytes
- LLID: 2 bytes
- CRC (*Cyclic Redundancy Check* – Checagem de Redundância Cíclica): 1 byte

Para o controle dos tempos de transmissão das ONU's, a OLT gera quadros de controle MAC do tipo GATE. Este quadro contém os tamanhos das janelas de transmissão das ONU's, durante as quais o meio óptico estará disponível para transmissão *upstream* de uma ONU em particular. Fora desta janela, a ONU deve armazenar os dados a serem transmitidos em um *buffer*. As mensagens GATE originadas da OLT também contêm uma indicação de relógio ou *timestamp*, que é utilizada como referência global de tempo por todas as ONU's.

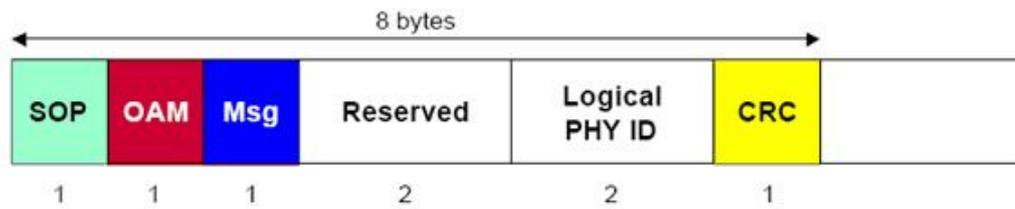


Figura 4: Formato do Preâmbulo MAC no protocolo MPCP [11].

EPON em Sentido *Downstream*

A OLT envia os quadros em *broadcast* para todas as ONU's, que devem recolher os quadros destinados a elas através do LLID contido no preâmbulo. Mensagens do tipo GATE são enviadas pela OLT com o objetivo de estabelecer os tamanhos de janela de transmissão (por conseguinte, larguras de banda para cada ONU).

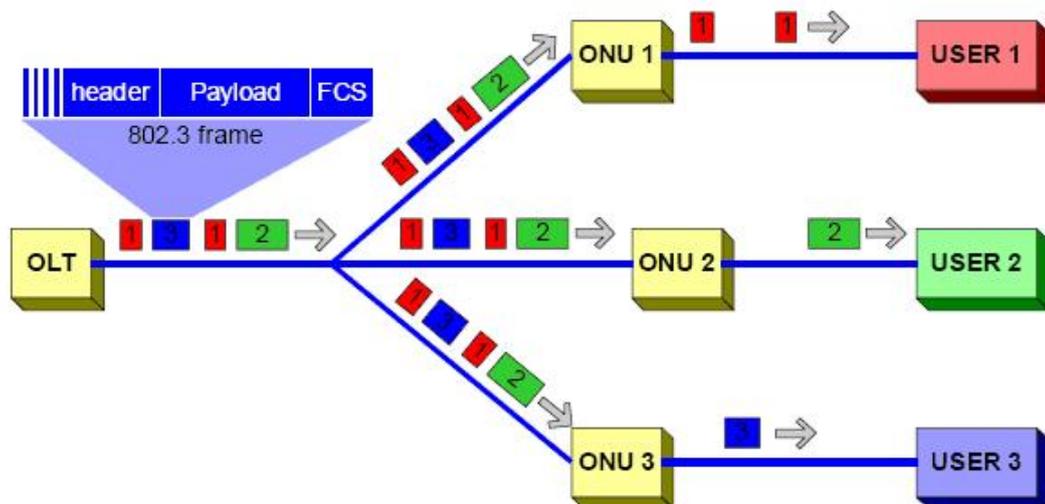


Figura 5: Operação da EPON no sentido *downstream* [5].

A Figura 5 ilustra o tráfego *downstream* de uma EPON, com a filtragem de quadros realizada pelas ONU's.

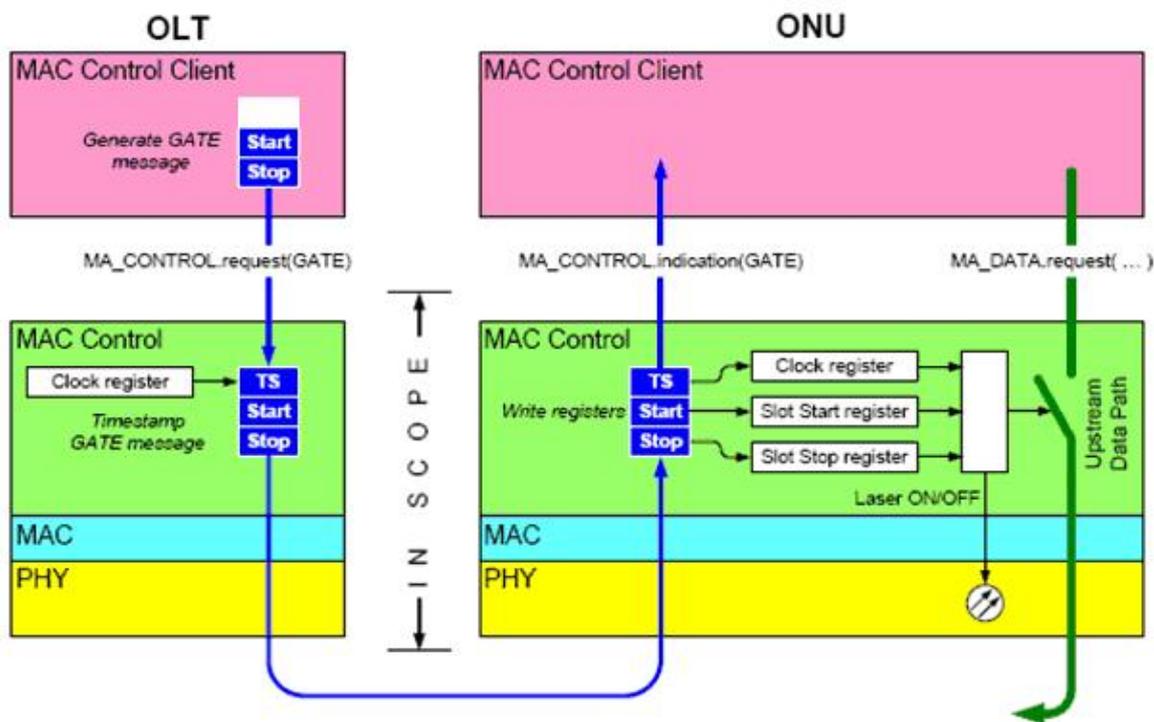


Figura 6: Caminho da mensagem GATE da OLT para a ONU [5].

A Figura 6 descreve os detalhes do tratamento dado às mensagens do tipo GATE. Ao receber um quadro GATE, a ONU sincroniza seu relógio interno para a indicação *timestamp* embutida no quadro.

Sob o ponto de vista da OLT, a recepção de dados pelas ONU's dá-se segundo a Figura 7. A OLT emite autorizações (*grants*) através de quadros GATE. Estas janelas de autorização de transmissão são espaçadas entre si (indicadas na figura pelo texto *inter-ONU-gap*). Durante estes intervalos de tempo, nenhuma ONU pode transmitir, portanto é de interesse diminuí-los o máximo possível. Para isto serve o processo de *auto-discovery* e *ranging*, onde a OLT mede o tempo de atraso para cada ONU e define o intervalo necessário de acordo com um algoritmo. Estas folgas entre janelas não pode ser simplesmente nulas ou zero, pois há necessidade de se introduzir alguns atrasos para permitir a operação dos lasers e fotorreceptores de maneira eficiente (os tempos variam conforme temperatura e idade dos componentes, por exemplo). A Figura 7 contém detalhes sobre a recepção de dados pela ONU. Alguns termos nela contidos referem-se a requerimentos da operação com lasers óticos e fogem ao escopo deste artigo.

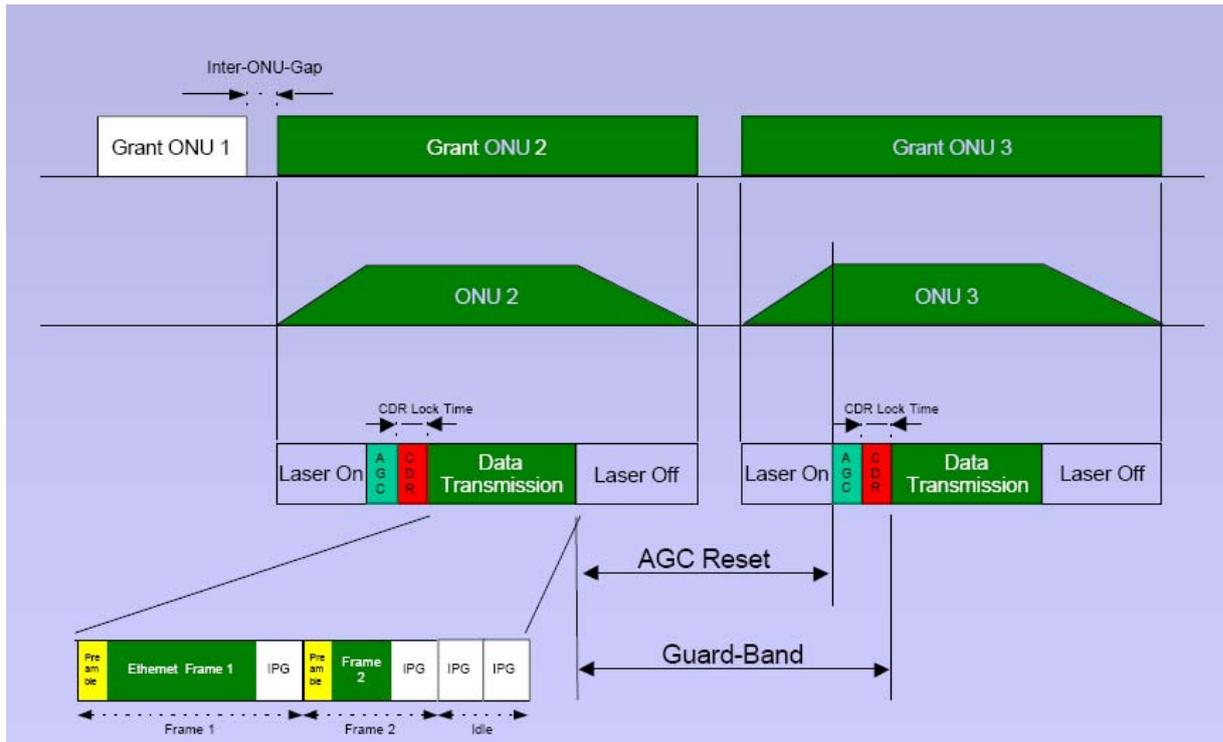


Figura 7: Recepção de dados pela ONU numa EPON [19]. Siglas: AGC – Automatic Gain Control (Controle Automático de Ganho); CDR – Clock-Data Recovery (Recuperação de Dados e Relógio); IPG – InterPacket Gap (Intervalo Interpacotes).

EPON em Sentido *Upstream*

No sentido das ONU's para a OLT, o protocolo MPCP usa janelas de tempo durante as quais cada ONU pode transmitir diversos quadros, incluindo uma mensagem do tipo REPORT, contendo informações de estado da ONU para a OLT. Nesta arquitetura, não há a possibilidade de colisões ou fragmentação. O controle da largura de banda alocada para cada ONU é feito pelo tamanho da janela de tempo disponível para transmissão. Enquanto a ONU puder transmitir, esta terá toda a largura de banda *upstream* da fibra ótica disponível para si, que no padrão IEEE 802.3ah EPON é de 1Gbps. Como os tempos de transmissão são reduzidos, a largura de banda efetiva poderá ser menor que a nominal.

Para ilustrar a operação da EPON no sentido *upstream*, referir-se à Figura 8, onde os retângulos cinza são as janelas de tempo alocadas para cada ONU, e os quadros coloridos são os quadros de dados gerados pelos usuários.

Cálculo do RTT (*Round Trip Time*)

O processo de medição do tempo total de viagem ida-e-volta (RTT) acontece da seguinte maneira (ver Figura 10):

1. OLT envia mensagem GATE no tempo T1;
2. ONU recebe mensagem GATE contendo tempo T1; sincroniza relógio interno para tempo T1;
3. ONU envia mensagem REPORT no tempo T2 de seu próprio relógio;
4. OLT recebe mensagem REPORT no tempo T3 referente a seu relógio interno;
5. OLT calcula $RTT = T3 - T2$.

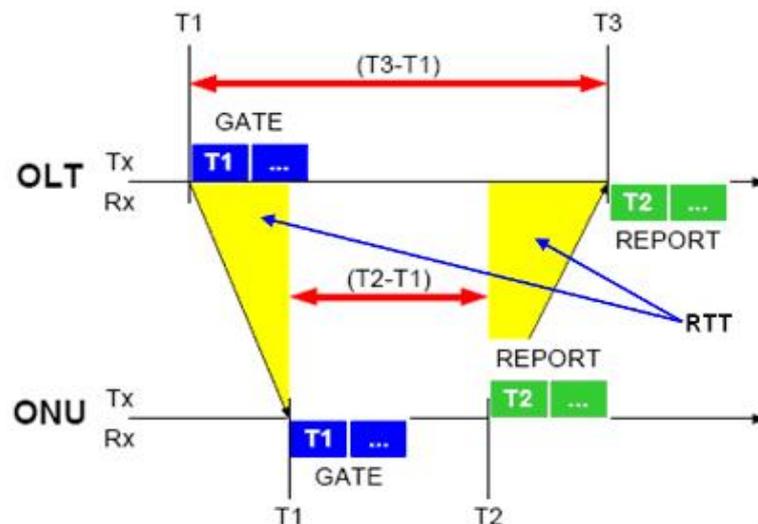


Figura 10: Processo de medição do Round Trip Time (RTT) [5].

Este algoritmo funciona pela seguinte razão. Se se tomar a diferença de tempo entre o envio da mensagem GATE e o recebimento da mensagem REPORT pela OLT, ou seja, $T3 - T1$, e subtraí-la da diferença de tempo entre o recebimento da mensagem GATE e o envio da mensagem REPORT pela ONU, ou seja, $T2 - T1$, o que sobra é justamente o tempo de viagem ida-e-volta, que pode ser observado destacado pelos triângulos na figura. Assim:

$$RTT = (T3 - T1) - (T2 - T1) = T3 - T2$$

Observa-se que os tempos indicados pelo relógio interno da OLT são absolutos, enquanto que os tempos indicados pelo relógio interno da ONU são relativos.

Processo de *Auto-Discovery*

O objetivo do *auto-discovery* é incluir de forma correta e sem distúrbios uma nova ONU numa rede EPON. Portanto, a nova ONU precisa se anunciar e negociar com a OLT parâmetros como RTT, tempos de liga-desliga do laser e tempos CDR e AGC (ver Figura 7) e a determinação das LLID's. O processo é realizado através de mensagens tipo GATE especiais, chamadas *Discovery GATE*, que são enviadas periodicamente em *broadcast* para toda a rede e contém as capacidades que a OLT oferece. Uma nova ONU recém introduzida intercepta esta mensagem e responde com uma mensagem REGISTER_REQUEST contendo suas próprias capacidades e mais um eco das capacidades propagadas pela OLT. Observar que aqui uma nova ONU deve disputar com as outras um espaço para fazer a transmissão desta mensagem, portanto há uma zona de disputa.

A OLT responde com uma mensagem REGISTER destinada à nova ONU, designando para ela uma LLID, e também uma mensagem GATE, conferindo à nova ONU uma janela de transmissão. O processo de *auto-discovery* é finalizado, e o canal de comunicação estabelecido, com o envio de uma última mensagem REGISTER_ACK pela ONU para a OLT, contendo um eco da LLID registrada [9].

Todo o processo está sumarizado na Figura 11.

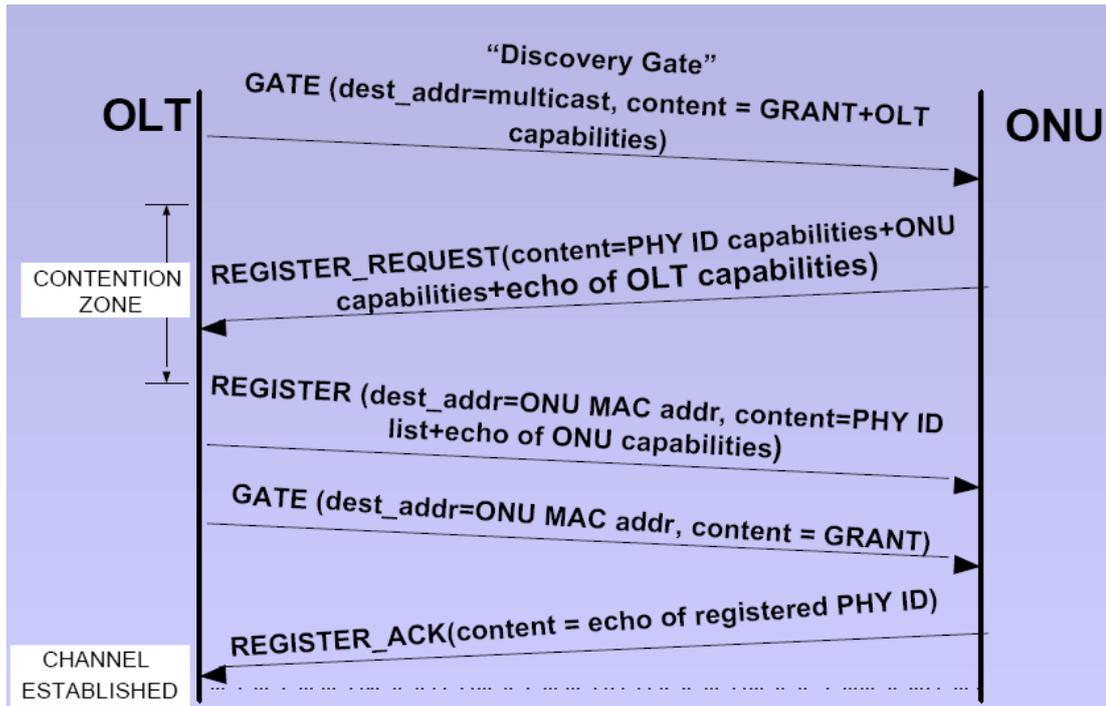


Figura 11: Sequência de *Auto-Discovery* [9].

Conclusão

Este artigo pretendeu oferecer uma visão geral do padrão IEEE 802.3ah EFM, que trata das tecnologias a serem aplicadas na conexão entre usuários finais e provedores de serviço usando o já estabelecido e eficiente protocolo Ethernet. O padrão, estabelecido em junho de 2004 pelo IEEE, provê três topologias distintas para a conexão de primeira milha, usando cabos de cobre ou fibra ótica, nas configurações ponto-a-ponto ou ponto-a-multiponto.

Em mais detalhes, abordou-se a infraestrutura ponto-a-multiponto em rede ótica passiva, conhecida como IEEE 802.3ah EPON, preparada para funcionar a velocidades de 1Gbps. Procurou-se pormenorizar detalhes da implementação de uma rede EPON com base no protocolo MPCP. Deste protocolo, mostrou-se seu funcionamento, como o processo de *auto-discovery*, de determinação de RTT, janelas de transmissão e controles.

Por fim, incluiu-se um levantamento bibliográfico com ponteiros para diversos trabalhos para referência.

Referências

1. ROPE, Todd; LARSEN, Troy. **Optical Ethernet bridges the gap from provider do customer.** Disponível em: <http://lw.pennnet.com/Articles/Article_Display.cfm?Section=OnlineArticles&SubSection=Display&PUBLICATION_ID=13&ARTICLE_ID=211916>. Acesso em: 10 janeiro 2005.
2. WOLCOTT, John; DAINES, Kevin; THATCHER, Jonathan. **Ethernet in the last mile: options & opinions.** Disponível em: <www.ieee802.org/3/efm/public/nov00/wolcott_1_1100.pdf>. Acesso em: 10 janeiro 2005.
3. ETHERNET IN THE FIRST MILE ALLIANCE announces official ratification of the IEEE 802.3ah EFM standard. **EFMA**, June 24, 2004. Disponível em: <<http://www.efmalliance.org/press/pr2004-06-24.html>>. Acesso em 05 janeiro 2005.
4. TOLLEY, Bruce. **IEEE 802.3ah Ethernet in the first mile update: technology and standards update.** Disponível em: <<http://www.cenic.org/gb/events/ws1002/Presos/Tolley.pdf>>. Acesso em: 10 janeiro 2005.
5. ETHERNET PASSIVE OPTICAL NETWORK (EPON) Tutorial. **EFMA**, June, 2004. Disponível em: <www.efmalliance.org/whitepapers/EPON_Tutor_V4.pdf>. Acesso em: 09 janeiro 2005.
6. PONs: cutting the cost of fiber to homes and offices. **Acterna Newsletter**, July 2004, vol. 4. Disponível em: <http://www.acterna.com/global/newsletters/04_vol_05/pon.html>. Acesso em: 12 janeiro 2005.
7. MAISLOS, Ariel; PIETILAINEN, Antti. **EFM P2MP tutorial.** 10 março 2003. Disponível em: <http://www.ieee802.org/1/linksec/meetings/Mar03/maislos_tutorial_1_0303.pdf> Acesso em: 10 janeiro 2005.
8. BEILI, Edward. **Ethernet PON (EPON) protocol.** 12 março 2001. Disponível em: <http://www.ieee802.org/3/efm/public/mar01/beili_1_0301.pdf>. Acesso em: 09 janeiro 2005.
9. GAGLIANELLO, Robert. **MPCP: Multi-Point Control Protocol for EPON's.** Disponível em: <http://www.ieee802.org/1/linksec/meetings/Sep02/Gaglianello_sec_1_0902.pdf>. Acesso em: 10 janeiro 2005.
10. GUMMALLA, Ajay. *et al.* **Multi-Point Control Protocol (MPCP) common framework.** 21 novembro 2001. Disponível em:

- <http://www.ieee802.org/3/efm/public/nov01/kramer_1_1101.pdf>. Acesso em: 10 janeiro 2005.
11. SUZUKI, Hiroshi. *et al.* **EFM OAM on preamble**. Jan 2002. Disponível em: <http://www.ieee802.org/3/efm/public/jan02/suzuki_2_0102.pdf>. Acesso em: 17 janeiro 2005.
 12. HORAK, Ray. **Passive optical network (PON)**. Disponível em: <www.itc.ku.edu/EECS/EECS_864/Sickel-PON%20presentation%2004-071.pdf>. Acesso em: 10 janeiro 2005.