

# Análise da influência do monitoramento OTDR em uma rede WDM-PON

Ulisses W. C. Costa, Renan Santos, Renan Almeida, Nyanne Satie Moritsuka, Carlos R. Lisboa Francês, João C. W. A. Costa

**Resumo**—Redes Ópticas Passivas estão cada vez mais difundidas como rede de acesso de banda larga. Devido à sua importância, tais redes necessitam constantemente de supervisão. Diversas técnicas vêm sendo empregadas para supervisão de redes ópticas, dentre elas as que utilizam reflectometria possuem destaque, pois oferecem baixo custo, em comparação com outros métodos de supervisão, e não exigem a intervenção na casa do usuário. Por outro lado, ao se fazer monitoramento, é esperado que esta ação não influencie no sinal de informação transmitido ao assinante. Neste contexto, o presente trabalho visa quantificar, por meio de simulações, o quanto a técnica de reflectometria no domínio do tempo interfere na transmissão de uma rede WDM-PON.

**Palavras-Chave**—WDM-PON, FTTH, OTDR, BER, Network Monitoring, VPITransmissionMaker.

**Abstract**—Passive optical networks are becoming more popular as wideband access networks technologies. Due to their importance, such networks demands continue supervision scheme. Different techniques could be employed for Optical Network Supervision, among them those using reflectometry have highlighted, because they offer low cost when compared with other monitoring methods and do not require intervention in the user's home. On the other hand, when doing monitoring, it is expected that this action does not influence the information signal transmitted to the subscriber. In this context, this work aims to quantify, through simulations, how the technique of time domain optical reflectometry interferes on the transmission of a WDM-PON network.

**Keywords**—WDM-PON, FTTH, OTDR, BER, VPITransmissionMaker.

## I. INTRODUÇÃO

Novos serviços conduzidos por aplicações de entretenimento para clientes privado, principalmente vídeo sobre demanda, exigem cada vez mais da capacidade das redes de acesso. Neste sentido, diversas alternativas foram criadas a fim de prover maiores larguras de banda e melhores taxas de transmissão. Um exemplo disso são as tecnologias xDSL, que usando o par trançado como meio de transmissão, permite o aumento da largura de banda a pequenas e médias distâncias. Mais recentemente, outra alternativa apresentada para atuar em tais problemática são as redes ópticas, especificamente redes ópticas passivas (PON), consideradas promissoras e rentáveis. A forma como a rede óptica é interligada está diretamente relacionada com a tecnologia de transmissão e o modo como esta rede é implementada. Devido a constante demanda por maiores larguras de banda, a tradicional multiplexação por divisão de

tempo (*Time Division Multiplexing*) em redes ópticas passivas tem dificuldade em suprir a demanda, embora grande parte das PONs comerciais (incluindo BPON, GPON e EPON) se enquadrem nessa categoria [1]. Nesse sentido, a PON baseada em multiplexação por divisão de comprimento de onda (*Wavelength Division Multiplexing*) tem sido considerada uma poderosa técnica capaz de prover maior vazão em comparação com a rede anterior. Os países asiáticos têm demonstrado grande interesse por WDM-PON, como pode ser visto em [2]. Visando evitar a queda de serviço prestado por tais redes, técnicas de monitoramento vêm sendo adotadas para testar o enlace e verificar possíveis falhas. Dentre as técnicas baseadas em reflectometria, o OTDR (*Optical Time Domain Reflectometry*) é o mais aplicado [2]–[6], contudo, existem outras técnicas de supervisão, tal como o OFDR (*Optical Frequency Domain Reflectometry*). No presente trabalho, é dado enfoque no uso de técnicas de OTDR para avaliar uma rede óptica FTTH. Esta técnica consiste em emitir um pulso em uma fibra a fim de mensurar o sinal de retorno (refletido ou retroespalhado), após este pulso percorrer todo enlace. Dessa maneira, analisando o sinal de retorno e o tempo que este levou para retornar, é possível verificar as perdas que ocorrem na rede, e consequentemente determinar o local das prováveis falhas. Além disso, pode-se também caracterizar a localização de nós remotos, emendas e acopladores. Sendo assim, é possível verificar o desempenho da rede de distribuição óptica a fim de avaliar a qualidade e a confiabilidade de seus componentes. Sabe-se que a interrupção de serviço de fibra pode causar grandes prejuízos em serviços e transações. Por conta disso, monitorar este canal sem inibir o tráfego de dados é de extrema importância. O intuito deste trabalho é verificar a influência do monitoramento por OTDR - mais especificamente do pulso emitido - no sinal de informação que trafega na fibra, gerando gráficos de erro de bit (BER, do inglês *Bit Error Rate*). São usados os softwares VPITransmissionMaker e Matlab para simular a rede óptica e para coletar os dados através da técnica OTDR, respectivamente.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### A. Redes Ópticas Passivas

Ao longo do tempo, as redes PON se tornaram a principal rede de acesso utilizada pelos provedores de serviços. Sua composição consiste, basicamente, de um terminal de enlace óptico (OLT, do inglês *Optical Line Terminal*), uma rede de distribuição óptica (ODN, do inglês *Optical Distribution Network*) e uma determinada quantidade de usuários ou ONU

(do inglês *Optical Network User*). A principal característica das redes PON é o fato de estas não utilizarem componentes eletrônicos para fazer a distribuição do sinal óptico ao longo do enlace. Entre as tecnologias que usam redes PON, duas principais se destacam: TDM e WDM. A principal diferença entre elas faz menção à forma como o sinal de informação é emitido ao usuário. Sendo assim, TDM divide o sinal de informação em janelas de tempo para cada usuário, enquanto no WDM o sinal de informação emitido estará contido em um determinado comprimento de onda a ser enviado a um respectivo usuário, proporcionando vantagens como a elevada capacidade, a privacidade e a transparência de protocolo [1], [2]. Sabendo que a luz é composta por diversos comprimentos de onda, outros parâmetros devem ser configurados a fim de se efetivar a transmissão, tais como, espaçamento de canal, potência do emissor, modulação, taxa de amostragem, entre outros [7]. Nas redes ópticas passivas TDM, a transmissão *downstream* ocorre em *broadcast*, isto é, o mesmo sinal a partir do OLT é transmitido para as diferentes ONU's, e cada usuário reconhece os seus próprios dados devido a um processo de filtragem [1]. Portanto, precauções relativas à segurança devem ser tomadas para garantir que usuários mal intencionados não tenham acesso à informação que trafega na rede. A faixa de comprimento de onda utilizada nesse sentido de tráfego varia entre 1480nm e 1500nm [8]. Por outro lado, no sentido *upstream*, cada ONU terá uma janela temporal pré-determinada e, durante este intervalo, poderá usar toda a largura de banda provida pelo canal óptico. O splitter atua como um combinador de potências, sendo responsável por combinar as sequências de dados e enviar as informações de todos os usuários ao OLT. Este, por sua vez, possui a função de alocar as janelas temporais de cada usuário, com objetivo de evitar colisões no tráfego de *upstream*. Para transmitir os dados, as ONUs devem estar sincronizadas com o OLT. A faixa de comprimento de onda utilizada no *upstream* varia de 1260 nm a 1360 nm [8]. Este modelo de rede tem sido migrado para WDM devido aspectos de segurança. Redes WDM-PON vêm sendo considerada a solução ideal para aumentar a capacidade das tecnologias de acesso das próximas gerações [9]. Nessa tecnologia, diferentes conjuntos de comprimentos de onda podem ser utilizados para suportar sub-redes PON independentes que operam sobre a mesma infra-estrutura. Na direção *downstream*, os canais de comprimento de onda são roteados da OLT para as ONU's por meio de um Array de Guia de Ondas (AWG, do inglês *Waveguide Grating arrayed*), que é implementado em um nó remoto (RN, do inglês *Remote Node*). O AWG é um dispositivo óptico passivo que fornece um roteamento fixo de um sinal óptico de uma porta de entrada para uma porta de saída baseado no comprimento de onda do sinal. Para a direção *upstream*, o OLT emprega um demultiplexador WDM juntamente com uma matriz receptora a fim de realizar a recepção dos sinais *upstream* [10]. Dedicar um canal óptico para cada ONU implica um aumento substancial na capacidade de banda oferecida para o utilizador. No entanto, a atribuição de canal fixo é inflexível e não permite a reutilização dinâmica de comprimentos de onda por ONUs diferente para utilização da capacidade eficiente, especialmente quando as demandas

de tráfego são em rajadas. ONUs no WDM-PON exigirão novos transmissores que trabalham em comprimentos de onda diferentes. Considerando a perspectivas, este trabalho abordará estudos de supervisão nas redes WDM-PON.

## B. Supervisão de Redes Ópticas

Supervisionar redes ópticas é de fundamental importância na investigação constante de toda a estrutura que a compõe. Para isso, técnicas de OTDR e OFDR podem ser empregadas visando a caracterização de perdas geradas pelos próprios componentes ópticos - que possuem grau de atenuação definido tecnicamente - e também de eventos (como uma quebra na fibra) ao longo da rede que inserem perda de potência e atenuações. A técnica OFDR baseia-se na detecção de batimento do sinal entre as reflexões distribuídas a partir da fibra em teste (retroespalhamento de Rayleigh, conectores, etc) e da reflexão de Fresnel (oscilador local). Utilizando o varrimento de frequência linear do laser, pode-se mapear as frequências diretamente batida, medido em uma escala de distâncias, enquanto que a potência normalizado quadrado para uma dada frequência de batimento dá a reflectividade a uma distância correspondente [11]. No entanto, o OFDR não é estudado detalhadamente neste trabalho. OTDR funciona lançando curtos e intensos pulsos de luz nas fibras a fim de medir o sinal óptico refletido após o lançamento, retornado para o instrumento como uma função do tempo. Os impulsos ópticos que se propagam ao longo da fibra podem sofrer reflexão e espalhamento, resultando em um fracionamento do sinal a ser refletido. O sinal retornado ao OTDR locomove-se na direção oposta ao sinal emitido, por conta disso experimentos com OTDR geram uma atenuação dobrada. Em casos reais a curva OTDR é normalizada em uma escala de dois a fim de compensar essa atenuação [2]. O OTDR baseia-se principalmente na reflexão de Fresnel e no retroespalhamento de Rayleigh. O princípio ocorre em função de propriedades particulares como faixa dinâmica cuja característica é considerada como a mais importante de um OTDR, uma vez que determina o comprimento máximo observável de uma ligação de fibra. Quanto maior a faixa dinâmica, maior será a relação sinal-ruído e melhor será o traço, com uma melhor detecção de evento. Além disso, pode-se citar a Zona Morta, cujo fenômeno avalia o comprimento da fibra que não está totalmente caracterizado durante o período de recuperação, devido a uma forte reflexão da entrada da fibra pode ser 4000 vezes maior que o sinal refletido, saturando o receptor do OTDR [12]. Dessa forma, o sinal retrodifundido não pode ser detectado com precisão durante o tempo necessário para recuperar a partir da condição saturada [2], [5]. O traçado de resposta do sinal refletido devido à inclusão do canal de monitoramento do OTDR opera em uma frequência distinta ao dos usuários. De acordo com a recomendação e padronização da ITU-T, utilizam-se comprimentos de onda de 1625 a 1675 nm para manutenção Band (U-band) [13] e 1650 nm como o comprimento de onda para monitoramento[2].

C. *VPITransmissionMaker*

Para fins de modelagem da rede óptica e extração de dados, foi necessário o uso de uma ferramenta robusta que permitisse analisar desempenho de redes com eficiência. Neste sentido, o software *VPITransmissionMaker*, da empresa *VPiPhotonics*, é largamente utilizado como instrumento para simulação de redes ópticas, sendo desenvolvido para modelar todos os tipos de redes e sistemas fotônicos, incluindo redes ópticas, aplicações de fotônica, de microondas, sistemas TDM com um único canal e sistemas WDM. A combinação de uma poderosa interface gráfica com uma simulação sofisticada e robusta como escalonador, juntamente com sinais ópticos flexíveis, permitem uma modelagem eficiente de todo o sistema de transporte, incluindo ligações bidirecionais, de anel e malha de redes. Além disso, o simulador fornece ferramentas avançadas, como por exemplo, simulação interativa, macros e design-assistentes, importação automática de dados arquivos, conversão de formato e co-simulação usando linguagens de programação padrão objetivando agilizar e capturar os processos de projeto [2], [7].

III. METODOLOGIA

Para a realização do trabalho proposto, são necessários alguns parâmetros relativos à aplicação utilizada, sobretudo, a configuração de redes WDM-PON. Este busca testar o sistema OTDR juntamente com a rede WDM-PON. Para tal, foi modelado um esquema composto por uma fonte de sinal para 32 usuários e uma fonte de sinal OTDR para monitoramento, seguindo por uma fibra alimentadora de 30Km até o RN onde é feito o processamento do sinal, e posteriormente uma fibra drop de 5Km para as ONU's. O modelo é apresentado na Figura 1. Na OLT, encontram-se as

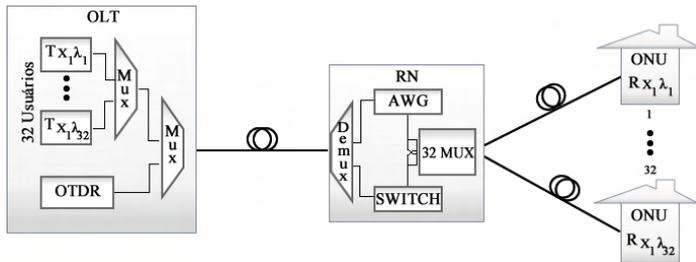


Fig. 1. Modelo WDM-PON com OTDR.

fontes dos usuários compostos por 32 lasers de onda contínua e um multiplexador com função de acoplar os 32 sinais. Posteriormente, é necessária a introdução de outro acoplador contendo filtros passa banda distintos e um multiplexador a fim de alocar os sinais de monitoramento OTDR e de dados para que ambos sejam transmitidos no enlace. No nó remoto, o sinal é separado através de um segundo acoplador constituído por um demultiplexador e filtros passa banda com intuito de isolar os sinais dos usuários e de monitoramento. Os sinais de dados são conduzidos ao AWG que irá encaminhar cada comprimento de onda para seu devido usuário, de acordo com as configurações iniciais estabelecidas na fonte. E o sinal OTDR segue em direção ao switch 1x32 que possui a função de replicá-lo 32 vezes, de forma que cada usuário seja

monitorado. Após as saídas do switch e do AWG, os sinais se unem novamente por meio de um terceiro acoplador, contendo 64 filtros e 32 multiplexadores. Ambos serão responsáveis pela junção de cada sinal de usuário com um de monitoramento, ou seja, na saída do nó, haverá 32 canais contendo uma frequência específica com as informações destinada à ONU e um sinal para monitoramento OTDR. Cada porta de saída do AWG na direção *downstream* apresenta um comprimento de onda diferente que será encaminhado para o respectivo usuário. A tabela I detalha as configurações de parâmetros da estrutura da simulada. As informações técnicas dos componentes da rede estão de acordo com padrões de fabricantes destes dispositivos.

TABELA I  
PARÂMETROS PARA A REDE SIMULADA.

Parâmetros Globais	Valor
Tempo de simulação	32/1e8 s
Taxa de Bit	1 e 10 GBit/s
Parâmetros da Fonte de Sinal dos usuários	Valor
Frequência de Emissão do Laser	192.8e12Hz a 195.9e12Hz
Potência do Laser	2.0 mW
Parâmetros da Fonte de Sinal OTDR	Valor
Frequência de Emissão do Laser	184.5e12 Hz
Potência do Laser	2.0e-3W
Largura do Pulso	10 ns
Índice de modulação	0.4
Parâmetros do AWG	Valor
Número de entradas	1
Número de saídas	32
Frequência de Operação	192.5e12Hz a 196.1e12Hz
Espaçamento de Canal	100.0e9 Hz
Faixa Espectral Livre (FSR)	3.5e12 Hz

TABELA II  
PERDAS NOS COMPONENTES DA REDE.

Componente	Perda por inserção
Acopladores	0.3 dB
Switch	1.2 dB
AWG	2.5 dB

Para se obter a BER dada uma potência recebida, foram acrescentados módulos próprios do software de simulação. Na Figura 2 é exemplificada a organização dos componentes na rede. O atenuador de potência é incrementado para medir o desempenho enquanto o estimador da BER recebe o sinal atenuado de acordo com a frequência específica do canal, sendo posteriormente comparado ao valor adquirido pelo medidor de potência.

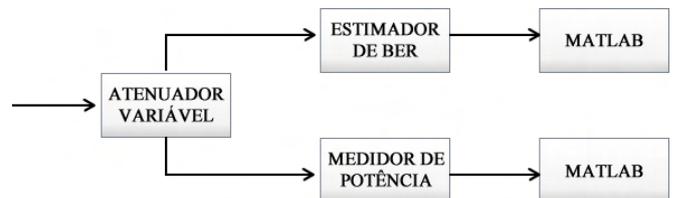


Fig. 2. Esquema de Estimação de BER.

Os componentes do módulo de estimação da BER foram configurados para serem medidos nove vezes atenuando de acordo com padrões previamente estabelecidos. O esquema em questão foi adaptado de uma demonstração de BER vs. potência recebida de [7].

#### IV. RESULTADOS

A análise da rede foi realizada dividindo a simulação nos seguintes cenários.

##### A. Análise I

Em outra simulação, o mesmo exemplo foi analisado, porém neste caso foram inseridos algumas faltas ao longo do enlace, como mostra a Figura 3. Na fibra alimentadora, a qual esta alocado entre a central e o nó remoto, foram inseridos dois eventos, sendo o primeiro de 1.5 dB após 6 quilômetros e o outro 2.1dB em 27 quilômetros, respectivamente. Na fibra drop, correspondente a ONU 17, um evento de perda de 2 dB, localizado a 1.4 quilômetros a partir do nó remoto, foi adicionado.

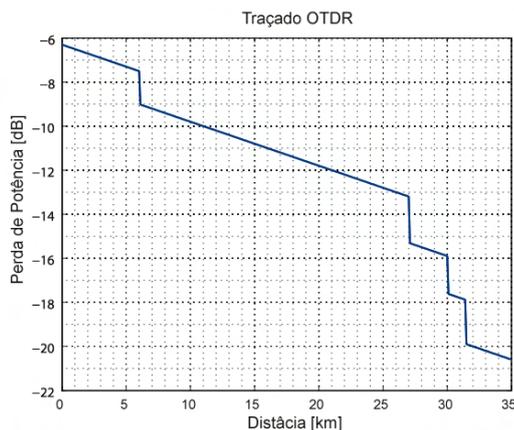


Fig. 3. Traçado Característico do OTDR - Enlace com eventos.

A caracterização dos eventos ao longo do enlace principal, de certa forma não é muito difícil de analisar, pois o mesmo é apresentado em uma única fibra, neste caso em particular o equipamento OTDR localiza sem maior problema a perda inserida, contudo, para os trechos entre o nó remoto e os usuários a análise consiste devido a inserção do switch 1x32 localizado no nó remoto, que multiplica o sinal OTDR para todos para cada uma das ONUs, sendo assim possível a visualização de um determinado evento neste ramo do sistema.

##### B. Análise II

Dado o traçado OTDR, o próximo passo foi gerar o gráfico da BER em alguns usuários a fim de analisar a penalidade que o sinal de monitoramento causa no sistema como um todo, neste sentido, um novo módulo foi inserido junto a ONU com o intuito de obter a BER. Para estimar a BER foi inserido ao sistema um atenuador variável que recebe uma única potência de entrada, e faz sair um número específico de blocos, mas com um aumento da atenuação aplicada a cada

bloco. O motor de simulação garante que todos os módulos sejam executados pelo menos uma vez, por isso o enlace de transmissão será executado uma vez. A Instrumentação então calcula a BER e a média da potência óptica recebida [10]. Inicialmente simulou-se o sistema retirando o sinal OTDR e todos os componentes referente ao monitoramento, deixando apenas as fontes de sinal dos 32 usuários na OLT o AWG no RN, então foi feita extração dos resultados pelo Matlab através de Co-simulação que captura as potências coletadas no VPITransmissionMaker. Feito todas as medições, procedimento é refeito, porém para o sistema composto com monitoramento do OTDR, acrescentando esta fonte de Sinal e os demais componentes, desta forma é possível fazer a relação da BER com a potência Recebida para ambos os casos e compara-los. A fim de extrair novas comparações para validar os resultados, o sistema foi reconfigurado para medir a relação da BER com a potência recebida para o canal 17, cuja frequência de operação está em 194.4 THz. O procedimento de estimação foi refeito para as taxas de bits 1Gbs e 10Gbps com pulso do OTDR em 10ns. A Fig. 6 Exibe a comparação dos sistemas simulados para a ONU 17.

O resultado visto para as taxas de bits exemplificadas nas simulações demonstram as penalidades que o monitoramento OTDR causa no sistema. Para a rede operando a uma taxa de 10 Gb/s, a penalidade introduzida para uma BER de  $10^{-9}$  foi de 0.1 dB, enquanto que a rede operando com uma taxa de 1 Gb/s, exibiu uma penalidade de 0.2 dB, para o mesmo valor de BER. Esses resultados demonstram que apesar do sistema apresentar uma certa taxa de dados perdidos, não chega a afetar o desempenho da rede como um todo, conforme é possível verificar devido as baixas penalidades introduzidas.

#### V. CONCLUSÕES

As redes ópticas WDM-PON surgiram com a promessa de resolver os problemas das redes de acesso no que se refere a grande largura de banda, suprimindo as necessidades dos usuários privados. É indispensável que o sistema seja robusto e com bom custo-benefício de forma que as falhas sejam detectadas rapidamente, logo diminuindo o tempo para reparo das mesmas ao longo do enlace, significando menor custo com manutenção da rede para as companhias. Neste contexto, o trabalho através de simulações de vários cenários mostra que o monitoramento de uma rede WDM-PON com OTDR é viável e vem sendo largamente utilizado. Foi extraído o traçado OTDR com e sem eventos ópticos, localizando através de gráfico gerado pelo Matlab as atenuações que forjaram uma perda de sinal, mesmo sendo baixa. Posteriormente foram refeitas as simulações, inicialmente com esquema WDM-PON básico, sem a inserção do canal OTDR e coletadas as potências em determinados usuários e extraído a BER com o módulo do VPITransmissionMaker, finalmente, foram inseridos ao sistema os componentes que processam o OTDR com os canais dos usuários. O resultado foi analisado e constatou-se que a perda inserida devido o incremento do canal de monitoramento é mínimo.

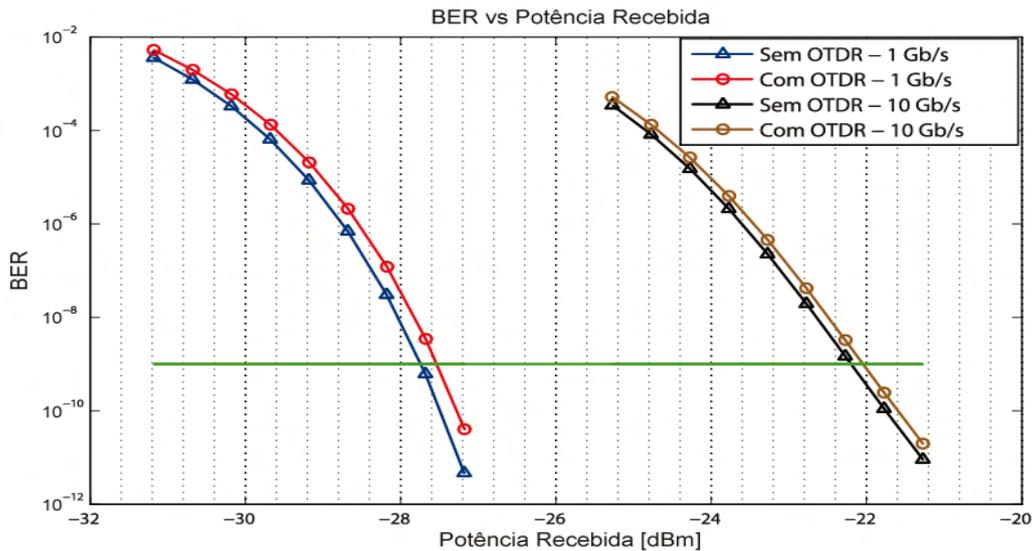


Fig. 4. Curvas de BER para rede operando em 1Gb/s e 10Gb/s.

## REFERÊNCIAS

- [1] C. F. Lam, *Passive Optical Networks: Principles and Practice*. Academic Press.
- [2] M. Cen, "Study on supervision of wavelength division multiplexing passive optical network systems," Master's thesis, KTH Information and Communication Technology, 2011.
- [3] P. Urban and S. Dahlfors, "Cost-efficient remote pon monitoring based on otdr measurement and otm functionality," *Transparent Optical Networks (ICTON), 2011 13th International Conference on*, pp. 1–4, 2011.
- [4] M. Wuilpart, G. Ravet, P. Megret, and M. Blondel, "Distributed measurement of raman gain spectrum in concatenations of optical fibres with otdr," *Electronics Letters*, vol. 39, pp. 88–89, 2003.
- [5] A. Ehrhardt, F. Escher, L. Schurer, H.-M. Foisel, A. Templin, M. Adamy, and C. Gerlach, "Investigation of limitations for otdr-measurements in pon with demarcation devices," *Optical Communication (ECOC), 2011 37th European Conference and Exhibition on*, pp. 1–3, 2011.
- [6] M. El-Sayed, P. Ibrahim, and F. Gunzer, "Investigation of the precision regarding fiber fault location with a commercial optical time domain reflectometer," *High-Capacity Optical Networks and Enabling Technologies (HONET), 2010*, pp. 237–241, 2010.
- [7] *VPI TransmissionMaker Optical Systems User's Manual*.
- [8] M. Abrams, P. Becker, Y. Fujimoto, V. O'Byrne, and D. Piehler, "Ftp deployments in the united states and japan-equipment choices and service provider imperatives," *Lightwave Technology, Journal of*, vol. 23, pp. 236–246, 2005.
- [9] J. Park, J. Baik, and C. Lee, "Fault-detection technique in a wdm-pon," *Optics Express*, vol. 15, 2007.
- [10] A. Banerjee, Y. Park, F. Clarke, H. Song, S. Yang, G. Kramer, K. Kim, and B. Mukherjee, "Wavelength-division-multiplexed passive optical network (wdm-pon) technologies for broadband access: a review [invited]," *Journal of Optical Networking*, vol. 4, 2005.
- [11] M. Wegmuller, P. Oberson, J. P. von der Weid, O. Guinnard, L. Guinnard, C. Vinegoni, M. Legre, and N. Gisin, "Overview of coherent reflectometry techniques: characterization of components and small systems," *Technical Digest Symposium on Optical Fiber Measurements, 2000 (NIST SP 953)*, pp. 155–60—viii+189, 2000.
- [12] N. Ferrari, L. Greborio, F. Montalti, and P. Regio, "Otdr characteristics for pon measurements," *International Wire & Cable Symposium*, pp. 27–35, 2008.
- [13] R. Ramaswami and K. N. Sivarajan, *Optical Networks - A Practical Perspective*. Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [14] P. L. W. T. Zhu and P. Wang, "Fiber network monitoring," *U.S. Patent 2009/0263123 A1*.
- [15] S. W. W. F. T. C. Y. Wang, T. J. Liaw and C. Wu, "Apparatus for monitoring optical obstructed in an optical split network and method thereof," *U. S. Patent 2008/0291431 A1*.
- [16] E. S. S. K. M. Lim and K. H. Han, "Fault localization in wdm passive optical network by reusing downstream light source," *Transparent Optical Networks (ICTON), 2011 13th International Conference on*, vol. 17, pp. 2691–2693, 2005.
- [17] S. K. L. Y. S. Hsieh and Y. T. Lai, "Real time monitoring in a wdm pon based on array waveguide grating incorporated a dwdm filter," *Australian Conference on Optical Fibre Technology OECC/ACOFT*, vol. 978, 2008.