

DEMÚLTIPLEXAÇÃO DE UM SINAL 4ASK MEDIANTE UMA PORTA ÓPTICA TIPO-S

V. P. Mora e E. A. M Fagotto

PUC-Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica – Campinas, SP Brazil, vp_mora@hotmail.com

Resumo— Neste trabalho mostramos, através de simulações, como demultiplexar um sinal 4ASK óptico mediante uma Porta Óptica tipo-S baseada em fibra altamente não-linear. Nossos resultados indicam que tal técnica funciona bem para sinais propagados dentro de distâncias típicas de redes de telecomunicações metropolitanas, o que a torna atrativa para ser utilizada na demultiplexação de pacotes ópticos quaternários em amplitude.

Palavras-Chave — demultiplexação, sinal multinível, portas ópticas, mistura de quarto ondas, função de transferência, pacotes ópticos.

I. INTRODUÇÃO

Existe um esforço mundial [1-7] para tornar o processamento de sinais em redes de telecomunicação totalmente óptico, evitando assim o gargalo resultante da conversão opto-elétrica e elétrica-óptica. Técnicas de roteamento de pacotes ópticos e a conversão entre formatos de modulação estão incluídos nessa tendência [1, 2] e, além disso, há muitas estratégias para gerar pacotes ópticos. Neste trabalho, nós apresentamos um esquema totalmente óptico que emprega uma Porta Óptica (PO), com função de transferência do Tipo S (FT-S), baseada em fibra altamente não-linear com dispersão deslocada para demultiplexar um sinal quaternário em amplitude modulado por chaveamento (*quaternary amplitude shift-keying*- 4ASK). Este sinal pode servir como um pacote óptico quaternário em amplitude (*quaternary amplitude optical packet* -QAOP), carregando o rótulo e a carga útil simultaneamente numa mesma portadora [3, 4]. Para rotear esses QAOPs, será necessário, com frequência, ler o rótulo quando este chegar a um nó intermediário da rede para fazer com que o pacote chegue corretamente ao seu destino e, conforme mostramos neste trabalho, uma PO com FT-S pode ser utilizada nesta tarefa.

Este artigo está dividido da seguinte forma: Na seção II encontra-se uma revisão a respeito de pacotes ópticos quaternários. Na seção III é discutida a técnica de demultiplexação e especificada a PO. Na seção IV são apresentados e discutidos os resultados de simulações e, finalmente, na Seção V apresentamos nossas conclusões.

II. PACOTES ÓPTICOS QUATERNÁRIOS EM AMPLITUDE

O uso de um sinal multinível, mais especificamente de um sinal 4ASK, como um QAOP foi proposto em [5] e testado na rede FAPESP-KyaTera em [6]. A idéia básica é codificar o rótulo e a carga útil em um mesmo díbit, ou seja, um bit representando o rótulo e o outro a carga útil. Como há quatro possibilidades, 00, 01, 10 e 11, a implementação física pode ser realizada utilizando um sinal 4ASK. Na Figura 1 (a) está o diagrama de olho para um sinal 4ASK detectado em configuração *back-to-back* e na Fig. 1(b) o diagrama de olho após 20 km de propagação através da rede KyaTera. A indexação dos níveis de potência com os díbits é também exibida na Fig. 1 (a).

III. DEMÚLTIPLEXAÇÃO DE PACOTES ÓPTICOS QUATERNÁRIOS EM AMPLITUDE COM PORTAS ÓPTICAS

Para demultiplexar um sinal 4ASK foi adotado um esquema totalmente óptico que emprega uma PO baseada em fibra com função de transferência (FT) adaptada.

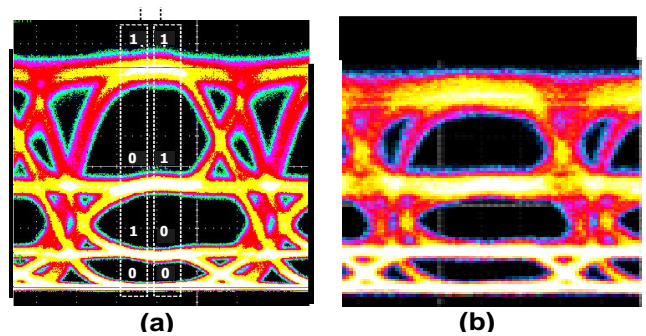


Fig. 1: (a) Diagrama de Olho para um sinal 4ASK detectado em configuração ponto-a-ponto e (b) após 20km de propagação pela rede KyaTera.

A PO em questão tem uma função de transferência do tipo S (FT-S), que mapeará o primeiro e o segundo níveis de potência de entrada no nível de saída A e o terceiro e o quarto no nível B (Fig. 2).

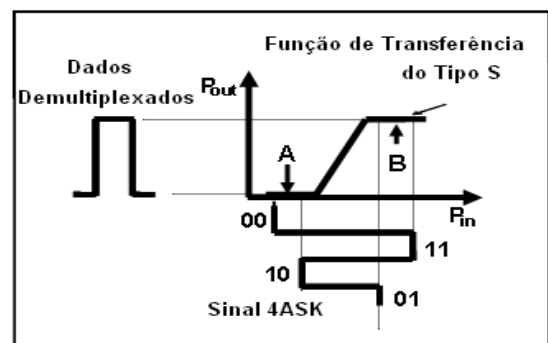


Fig. 2: Demultiplexação de um sinal 4ASK via FT do tipo S.

Essa PO pode ser implementada usando dois estágios de fibra de dispersão altamente não-linear seriadamente casadas (Figs 3(a) e (b)). No primeiro estágio, o sinal 4ASK, numa portadora f_s , será propagado com um sinal de bombeio CW₁, na frequência f_{CW1} , ocorrendo mistura de quatro ondas entre eles. Um filtro óptico passa-faixa (*Optical Band-Pass Filter* - OBPF) permite selecionar o produto da mistura de quatro ondas na frequência $f_{1+} = 2f_s - f_{CW1}$ na saída da fibra.

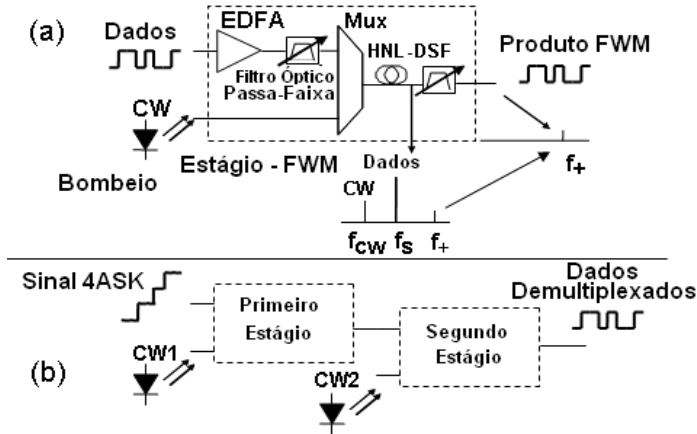


Fig. 3: (a) Detalhe do estágio de Mistura de Quatro Ondas da Porta Óptica e (b) estágios acoplados.

O sinal selecionado será acoplado à fibra do segundo estágio e irá propagar com um sinal de bombeio CW_2 , na frequência f_{CW_2} , gerando produtos de mistura de quatro ondas e, assim como feito no primeiro estágio, configuraremos o OBPF para, desta vez selecionar o sinal na frequência $f_{2+} = 2f_{1+} - f_{CW_2}$. A FT da PO é implementada na fibra mediante um método de cálculo heurístico que será detalhado numa publicação futura [6].

Usando este método, nós encontramos os parâmetros listados na Tabela I para a PO, sendo L o comprimento da fibra, S_0 a inclinação de dispersão, γ o coeficiente não-linear, f_{CW} a frequência do sinal de bombeio e G o ganho do amplificador de fibra dopada à érbio. Além disso, para qualquer PO, a potência do bombeio é 1 mW, o comprimento de onda de dispersão-zero é 1557 nm e a atenuação é 0.2 dB/km.

TABELA I – Parâmetros da PO

	PO – FT do tipo S	
	Primeiro Estágio	Segundo Estágio
L (m)	3600	3100
S_0 (ps/nm ² /km)	0,04	0,03
γ ((W.km) ⁻¹)	12	12
f_{CW} (THz)	1557,53	1555,02
G (dB)	13,35	25,65

IV. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES E DISCUSSÃO

Em nossas simulações, codificamos o rótulo e a carga útil em um sinal quaternário modulado por chaveamento de amplitude (4ASK) de duas maneiras: primeiro, com o primeiro bit do díbit representando o rótulo e o segundo bit representando a carga útil; e em segundo, com essa situação invertida. Para a primeira situação, o rótulo é demultiplexado usando uma PO com uma FT do tipo S (FT-S). Quando a codificação dos bits é invertida, a carga útil é que é obtida através do processo de demultiplexação. As figuras 4 e 5 mostram o Fator Q do diagrama de olho em função da distância de propagação do QAOP. Em ambos os testes, o rótulo continha 4096 bits transmitidos a 2.5 Gbps e a carga útil tinha 16384 bits a 10 Gbps.

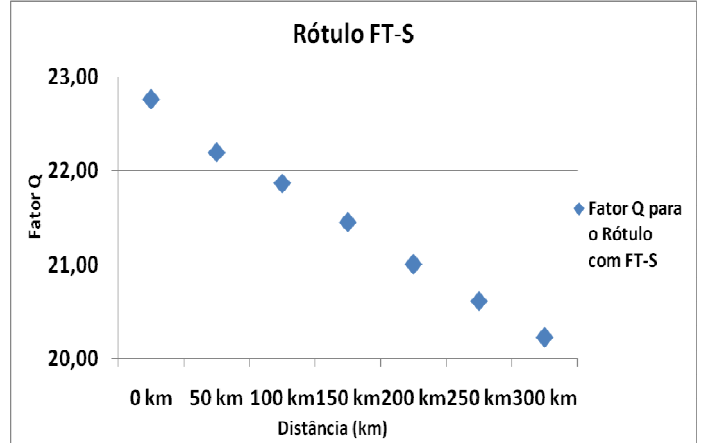


Fig. 4: Evolução do Fator Q para o rótulo demultiplexado usando uma PO com FT-S.

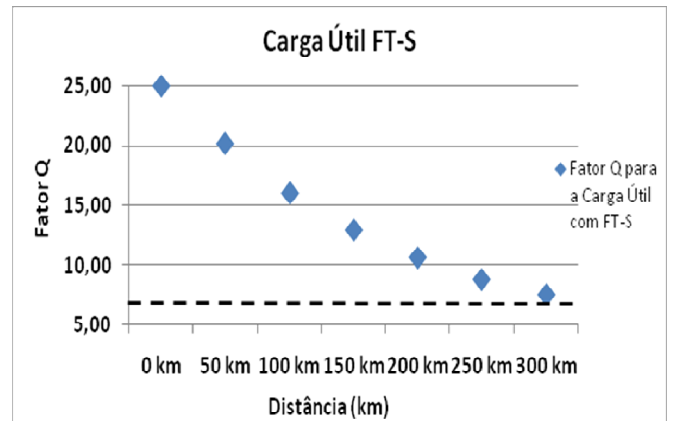


Fig. 5: Evolução do Fator Q para a carga útil demultiplexada usando uma PO com FT-S. A linha tracejada corresponde a BER de 10^{-12} .

Considerando uma Distribuição de Ruído Gaussiano, traçamos uma linha na figura 5 para marcar o fator Q correspondente a uma Taxa de Erro de Bit (*Bit Error Rate* - BER) de 10^{-12} , que é o máximo aceitável de BER para a carga útil e o rótulo em sistemas de comunicações ópticas a 10 Gbps. Essa BER máxima é alcançada com distâncias de propagação de até 300 km, sugerindo que esta técnica é adequada para ser aplicada em redes de área metropolitana. A razão para o fator Q do rótulo não se degradar da mesma forma que o da carga útil deve-se à sua taxa de transmissão ser mais baixa (*i.e.*, 2,5 Gbps vs. 10 Gbps).

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho discutimos, a partir do resultado de simulações, como uma PO com FT-S pode ser empregada na demultiplexação de um sinal 4ASK óptico que foi obtido mediante a multiplexação de dois tributários binários. Tal sinal pode ser empregado na implementação de um QAOP que transporta, simultaneamente e dentro de uma mesma largura de banda, um rótulo e uma carga útil. Nossos resultados mostram que, utilizando-se uma PO com FT-S, codificando o primeiro bit do díbit para representar o rótulo e o segundo bit representando a carga útil, é possível demultiplexar a informação do rótulo do pacote. Invertendo-se a codificação dos bits, é possível se obter a carga útil até uma distância de 300 km, que é típica de uma rede metropolitana de telecomunicações.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho de iniciação científica foi parcialmente financiado com uma bolsa FAPIC da PUC-Campinas, de acordo com o plano de trabalho “Avaliação do efeito da demultiplexação óptica na taxa de erro de bit de pacotes quaternários em função da potência do sinal transmitido”. Os recursos numéricos utilizados para as simulações foram disponibilizados através do projeto FAPESP 2003/08320-2.

REFERÊNCIAS

- [1] M. L. F. Abbade, E. A. M. Fagotto, R. S. Braga, F. R. Barbosa, E. Moschim, I. E. Fonseca, “Quaternary Optical Packets Generated by Fiber Four-Wave Mixing,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 18, no. 2, p. 331-333, 2006.
- [2] G.T. Zhou, K. Xu, J. Wu, C. Yan, Y. Su et. al, "Self-pumping wavelength conversion for DPSK signals and DQPSK generation through four-wave mixing in highly nonlinear optical fiber", *IEEE Photon. Technol. Lett.* vol 18, no. 22, pp. 2389-2391, 2005.
- [3] N. Chi et al., “Optical label swapping and packet transmission based on ASK/DPSK orthogonal modulation format in IP-over-WDM networks,” in *Optical Fiber Communication Conf.*, pp. 792–794.
- [4] D. J. Blumenthal, A. Carena, L. Rau, V. Curri, and S. Humphries, “All-optical label swapping with wavelength conversion for WDM-IP networks with subcarrier multiplexed addressing,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, pp. 1497–1499, Aug. 1999.
- [5] M.L.F. Abbade, E. A. M. Fagotto, R. S. Braga, I. E. Fonseca, E. Moschim and F. R. Barbosa, “Optical Amplitude Multiplexing through Four-Wave Mixing in Optical Fibers” *IEEE Phot. Tech. Lett.*, vol. 18 (2006), 331-333.
- [6] E. A. M. Fagotto, F. A. Callegari and M. L. F. Abbade “Design and Simulations of Fiber Based Optical Gates for Optical Signal Processing: An Application to All-Optical Demultiplexing of Multilevel Signals.”, unpublished.
- [7] R. Salem, M.A. Foster, A. C. Turner, D. F. Geraghty, M. Lipson et al., "Signal regeneration using low-power four-wave mixing on silicon chip", *Nature Photon.*, vol.2, no 1 ,pp.35-38, Jan. 2008.