

DMT em fibras ópticas de plástico de índice degrau para comunicação em redes domésticas

Flavio A. N. Sampaio, Vinicius N. H. Silva, Tadeu N. Ferreira, Luiz Anet Neto, Andrés P. L. Barbero e Ricardo M. Ribeiro

Resumo— Este trabalho tem como objetivo demonstrar um sistema de transmissão utilizando um algoritmo adaptativo no contexto de multiplexação *Discrete Multitone* (DMT) com o intuito de aumentar a eficiência espectral em enlaces de curta distância. Utilizando 20 metros de fibra óptica de plástico de índice degrau (SI-POF) e diodos emissores de luz (LED) centrados em 450, 520, 560 e 650 nm de baixo custo obtivemos taxas de transmissão tão altas quanto 128 Mbit/s. Através desse sistema, propomos uma solução que pode oferecer uma taxa de transmissão agregada de 450 Mbit/s combinando as fontes ópticas em um multiplexador óptico.

Palavras-Chave — POF, DMT, LED, MATLAB, IM/DD

Abstract— This work aims to demonstrate a transmission system using an adaptive algorithm in the context of Discrete Multitone multiplexing (DMT) in order to increase the spectral efficiency in short distance links. Using 20 meters of step-index plastic optical fiber (SI-POF) and low-cost 450, 520, 560 and 650 nm light-emitting diodes (LEDs) we achieved transmission rates as high as 128 Mbit/s. Through this system, we propose a solution that can offer an aggregate transmission rate of 450 Mbit / s by combining the optical sources in an optical multiplexer.

Keywords — POF, DMT, LED, MATLAB, IM/DD

I. INTRODUÇÃO

Cada vez mais serviços e tecnologias que demandam banda larga e com altas taxas de transmissão são disponibilizados, tais como serviços de *streaming* de alta definição (4K e 8K) e de realidade virtual, aplicações *e-health* e inovações como a Internet das coisas (IoT) são lançados no mercado [1]. Assim não somente pessoas estão cada vez mais conectadas a todo momento em todo lugar, mas também objetos, dispositivos eletrônicos, eletrodomésticos, dentre outros.

O aumento do consumo de banda impõe o desafio de entregar altas taxas com boa qualidade de serviço (QoS) nas instalações dos usuários para os operadores de telecomunicações. De fato, sistemas de comunicação com fibras ópticas de plástico (POF) oferecem alta capacidade de transmissão, resistência mecânica, baixo custo porém sofrem alta atenuação e dispersão. Dessa forma são usados em aplicações domésticas e veiculares, principalmente [2].

Apresentaremos a implementação de um sistema de comunicação com SI-POFs utilizando multiplexação *Discrete Multitone* (DMT), caracterizado pela robustez à interferência intersimbólica (ISI) e elevada eficiência espectral usando LEDs de iluminação com espectros de emissão centrados em 450, 520, 560 e 650 nm.

II. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO

Os componentes do sistema e o seu digrama associado são representados pela figura 1 (a) e (b), respectivamente. A cadeia de transmissão é composta por um computador pessoal com MATLAB para modular, demodular e controlar os parâmetros da transmissão (número de subportadoras, número de símbolos do sinal, largura de banda do sinal DMT, taxa de erro de bit alvo, e fator de escala do sinal DMT para evitar *clipping*). Um gerador de função arbitrária (Tektronix AFG3251) para converter o sinal DMT digital em analógico, um bias-T (Mini-Circuits ZG85-12G+) para adicionar nível DC ao sinal inserido pela fonte eletromagnética, um LED de iluminação (centrado em 450, 520, 560 ou 650 nm), um fotodetector (Thorlabs PDA10A) para conversão óptico-elétrica e um osciloscópio digital (R&S RTO 1002) para digitalizar o sinal ligado ao computador.



Figura 1 (a) *Setup* Experimental com LED centrado em 560 nm.

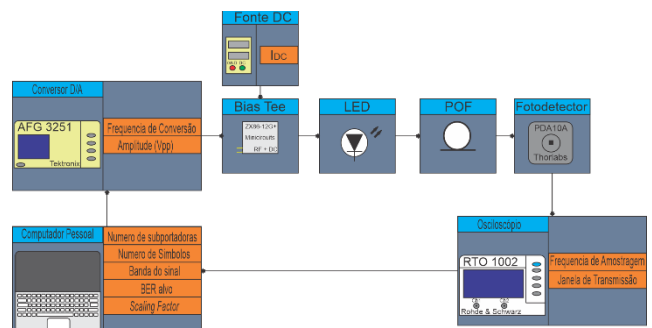


Figura 1 (b): Diagrama do *setup* e parâmetros controlados para a transmissão.

A transmissão é feita da seguinte forma: nosso sinal DMT gerado possui uma banda de 20 MHz, de acordo com a banda de 3 dB das nossas portadoras ópticas. O fator de escalamento é de 22 dB, de forma que a amplitude de saída do sinal DMT seja menor que 10 volts pico-a-pico (tensão máxima de saída do DAC), foram utilizadas 491 subportadoras com dados e 16 amostras por símbolo como o prefixo cíclico. As taxas de amostragem utilizadas para o gerador de funções e osciloscópio foram de 100 MSa/s e 200 MSa/s respectivamente.

II. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O algoritmo utilizado maximiza as taxas de transmissão em função da taxa de erros de bits alvo determinada pelo usuário e a potência global do sinal DMT. O princípio é de preencher com mais bits por símbolo as subportadoras que oferecem maior relação sinal-ruído (SNR). A realização das transmissões é em duas etapas: *probing* e *bit & power loading*. Durante a primeira etapa, todas as informações recebidas são consideradas conhecidas e o canal invariante no tempo. Nessa etapa são transmitidos símbolos com mesma energia (QPSK) e a SNR é medida através do EVM. Na segunda etapa, é realizado o *bit & power loading rate adaptive*, ou seja, é realizada a alocação de bits por símbolo em função do *probing* de forma a maximizar as taxas de transmissão em função de uma taxa de erro de bits alvo, nela, é executado o *E-tight*: para a redistribuição de bits entre subportadoras para uso de mínima energia e o *Efficientize*: para aprimorar a relação bits/símbolo para cada subportadora assim ocasionando a maximização das taxas de transmissão.

A. Probing

A figura 2 ilustra o EVM e a relação sinal ruído por subportadora após a primeira etapa do algoritmo usando um sinal de sonda.

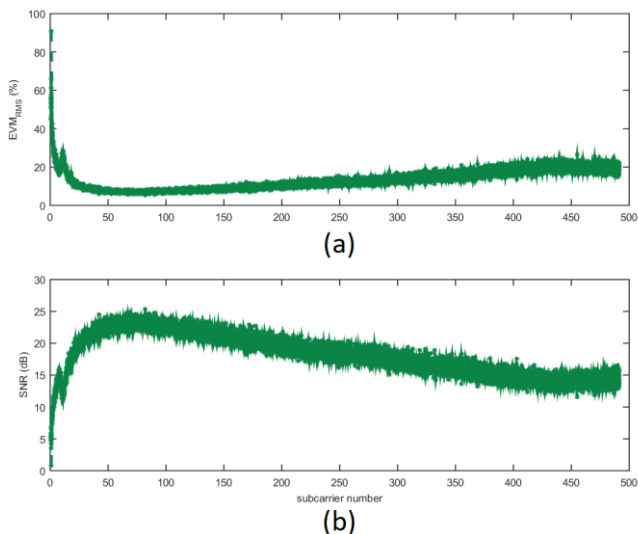


Figura 2 - Resultados de transmissão durante a primeira etapa do algoritmo para cada subportadora (a) EVM_{RMS} e (b) SNR.

B. Bit & Power Loading

A tabela 1 demonstra o número de bits por símbolo médio a relação sinal ruído média, a taxa de transmissão e a eficiência espectral da transmissão após a segunda etapa do algoritmo, considerando uma BER alvo de 10^{-3} .

Tabela 1: Bits por símbolo, SNR, Taxa de transmissão e eficiência espectral para fontes ópticas centradas em 450, 520, 560 e 650 nm.

Fonte Óptica	450 nm	520 nm	560 nm	650 nm
Bits/símbolo	6.51	5.57	5.62	5.31
SNR (dB)	24.2	21.45	21.35	20.74
Taxa de Transmissão (Mbit/s)	127.88	112.22	110.28	104.2
Eficiência Espectral (bit/s/Hz)	6.39	5.61	5.51	5.21

III. CONCLUSÃO

Foram realizadas transmissões em 20 metros de fibra polimérica de índice degrau utilizando diversas fontes ópticas de baixo custo. Os resultados demonstram que o sistema pode ser utilizado como alternativa para as redes com distribuição via cabos de cobre. Obtivemos uma taxa de transmissão de na ordem de 130 Mbit/s para uma BER alvo de 10^{-3} , usando modulação QAM e multiplexação DMT após parametrizar o sinal DMT transmitido de acordo com as fontes ópticas e os equipamentos da cadeia de transmissão. As próximas pesquisas serão focadas em maximizar a taxa de transmissão agregada, através de um multiplexador óptico para fibras ópticas de plástico.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado em parte pela Fundação de Amparo a pesquisa (FAPERJ) e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os autores também gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] V. D. Trong, P. H. Binh e T. C. Thang. "A 622 Mbit/s transmitter for POF-based home networks using red LED." *IEEE Fifth International Conference on Communications and Electronics (ICCE)*, 2014, Da Nang, Vietnã, Julho de 2014, pg. 30-33.
- [2] R. Gaudino et al. "Perspective in next generation home networks: Toward optical solutions?," *IEEE Communications Magazine*, pp. 39–47, Fevereiro de 2010.