

2

Comunicação Óptica: Apresentação e Análise das Tecnologias mais Relevantes na Atualidade

Neste capítulo, é realizada uma apresentação mais abrangente de diversas técnicas utilizadas para o aumento da capacidade de transmissão de dados via comunicação óptica motivada pela crescente demanda de tráfego de dados.

2.1.

O Transmissor Óptico e Métodos para Incremento da Capacidade e/ou Eficiência Espectral

O componente mais representativo do transmissor óptico é a fonte luminosa que pode ser um LED, que tem como característica marcante uma largura espectral extensa sendo mais apropriado sua aplicação em sistema de comunicação monocanal, ou um LASER que tem como principal característica uma largura espectral bastante estreita comparado à de um LED. O custo da utilização de um LASER é maior, mas seu uso em sistemas multicanais é necessário para melhorar o desempenho da capacidade de transmissão de dados em um enlace. Além da fonte luminosa adequada, outros componentes são utilizados no transmissor óptico a fim de maximizar a transmissão de dados de acordo com os parâmetros de desempenho requeridos. Existe um conjunto de diversas técnicas que podem ser aplicadas para o alcance do desempenho desejado. As técnicas mais utilizadas na área das comunicações ópticas de alta capacidade de transmissão de dados são apresentadas nas seções a seguir.

2.1.1

Discussão sobre os Principais Formatos de Modulação Empregados

O campo elétrico em fibras monomodo (SMF) apresenta três parâmetros físicos que podem ser usados para transportar informação. A amplitude, a fase e a

polarização do campo elétrico tem o potencial de ser explorado no processo de modulação. Diferentes formatos de modulação foram propostos no início dos anos noventa, principalmente em associação com detecção coerente. No entanto, estas investigações receberam relativamente pouca atenção devido ao forte gargalo eletrônico contido na época raramente superado. Além disso, o aparecimento do EDFA ofereceu novos horizontes para os sistemas IM-DD simples, de modo que esses sistemas supriram a demanda de transmissão de dados, mesmo sem a aplicação modulação de ordem superior. Assim, a investigação de formatos de modulação de alta ordem permaneceu essencialmente limitada à descrição de um transmissor e receptor de estruturas e para o cálculo de bit teórica taxa de erro (BER) em performances de ruído. Uma síntese deste trabalho inicial pode ser encontrada, por exemplo, em [5].

Tendo otimizado sistemas ópticos com modulação da intensidade binários com detecção direta ao longo de anos, um novo interesse em formatos alternativos de modulação óptica emergiu no final dos anos noventa. Em primeiro lugar, houve interesse na obtenção de uma maior resistência contra efeitos de fibra de propagação para ampliação do alcance da transmissão, ao invés da busca de eficiências espectrais mais elevadas. A modulação DBPSK, às vezes simplesmente denotado como DPSK), foi demonstrado que possuem uma maior resistência contra efeitos não lineares [6]. A modulação DBPSK parecia ser atraente por causa da detecção direta ainda ser realizada com pequena complexidade colocando um interferómetro óptico simples na frente do fotodiodo, de modo que o esforço de crescimento em comparação com os sistemas com IM-DD é relativamente pequeno. Além disso, os formatos NRZ e RZ foram investigados e foi demonstrado possuírem propriedades de transmissão diferentes. Nos últimos anos, a investigação de formatos de modulação multi-níveis começou a desempenhar um papel importante na área de pesquisa. A modulação multi-nível permite o aumento da capacidade de transmissão de dados utilizando equipamentos de menor velocidade existente, e superando, assim, os limites presentes na eletrônica de alta velocidade e processamento de sinal digital. Ao manter a taxa de dados constante na transmissão com menor taxa de símbolo pode permitir espaçamentos de canais menores e traz uma maior tolerância contra fatores degradantes do sinal na transmissão, tais como a dispersão cromática e dispersão de modos de polarização. No entanto, estas vantagens são

acompanhadas por uma maior complexidade dos componentes. O esquema de modulação de multi-nível óptico mais simples ASK multi-nível, onde a informação é codificada em vários níveis de intensidade. Esse esquema de modulação foi analisado em [7,8]. Por exemplo, 2,5 vezes tolerância à dispersão em comparação com OOK pode ser conseguida por 4ASK, mas somente com a aceitação de uma penalidade devido ao ruído. Assim, a utilização de modulação ASK multi-nível deve ser considerada principalmente para aplicações de curto alcance. Grande contingente de trabalhos científicos apresentam atualmente o emprego das modulações de quatro bits por símbolo, tais como DQPSK e QAM, no campo das comunicações ópticas a fim de aumentar a capacidade e a eficiência espectral da transmissão de dados.

2.1.2

Discussão sobre os Principais Métodos de Multiplexação Empregados

A fim de aumentar a capacidade de transmissão de dados no enlace de fibra óptica, técnicas de multiplexação são empregadas. A multiplexação consiste em compartilhar o meio de propagação do sistema de comunicação de forma que seja possível a separação novamente dos n canais para os respectivos receptores no fim do enlace. As técnicas mais populares de multiplexação são: multiplexação por divisão de tempo (*TDM-Time-Division Multiplexing*), multiplexação por divisão do comprimento de onda (*WDM-Wavelength Division Multiplexing*), multiplexação em polarização (*PDM-Polarization Division Multiplexing*), multiplexação por divisão do espaço (*SDM-Space Division Multiplexing*) e multiplexação por divisão em códigos (*CDM-Code Division Multiplex*). [15].

No caso do TDM, um único meio de propagação de sinal é compartilhado com n canais por meio da atribuição de um *slot* de tempo para cada canal do sistema. No entanto, o aparato eletrônico necessário tanto no transmissor, quanto no receptor aumenta com o uso desta técnica. Além da limitação na parte eletrônica, a taxa de transmissão no enlace é igual a n vezes a taxa de transmissão de cada canal, o que aumenta significativamente os efeitos de dispersão cromática (CD) e dispersão do modo de polarização (PMD).

Utilizando a multiplexação por divisão em código (*CDM-Code Division Multiplexing*), aplica-se uma codificação em cada canal do sistema de transmissão, para então, ser modulado e transmitido através do meio de propagação. Desta forma, vários canais são misturados no domínio do tempo e da frequência, mas cada um contém uma codificação diferente. Para que cada transmissão seja diferenciada, o receptor deve ser ajustado para o código correto do canal desejado, assim, é capaz de selecionar a transmissão esperada e rejeitar o resto.

A multiplexação por divisão em polarização (*PDM-Polarization Division Multiplexing*) faz uso da ortogonalidade de dois estados de polarização do sinal óptico. Canais de comunicação podem compartilhar o espaço no domínio da frequência e do tempo, mas a informação a ser enviada pelo transmissor é transmitida codificada na polarização horizontal ou vertical para separá-los através do mesmo meio de propagação. Apesar de fácil implementação, é requerido um controle da polarização no enlace para a correta decodificação realizada no receptor. O ganho na eficiência espectral no sistema de comunicação óptica utilizando essa técnica pode até dobrar.

2.2. O Receptor Óptico

Os receptores ópticos podem ser classificados em dois grandes grupos: receptores coerentes e receptores não coerentes. Enquanto os receptores não coerentes tem em geral implementação mais simples, os receptores coerente, quando corretamente implementados, apresentam desempenho potencialmente superior.

Os receptores não coerentes, por sua maior simplicidade, foram os primeiros explorados comercialmente e ainda são largamente utilizados atualmente. Deste tipo de receptores, talvez o mais representativo seja o receptor de detecção direta, enlaces tipo IM-DD. Esse tipo de receptor normalmente faz uso apenas de um detector óptico e amplificação elétrica, normalmente utilizando diodos pin ou avalanche.

Outra técnica de recepção não coerente que deve ser mencionada é a interferométrica. Esta técnica consiste basicamente em injetar o sinal elétrico detectado em um interferômetro com atraso (“*delay line*”) em um dos braços. A saída do interferômetro passa por um detector balanceado que converte a informação de fase do interferômetro em um sinal representado por intensidade. Esses receptores têm como principal vantagem em relação à detecção IMDD a tolerância a dispersão cromática e a dispersão de modo de polarização (PMD).

No receptor coerente, além do fotodiodo, outro componente é necessário, conhecido como PLL. A utilização da PLL é a forma mais tradicional onde é possível demodular o sinal que chega modulado em fase, por exemplo. A esse sinal do transmissor é juntado outro sinal proveniente de um oscilador local (LO) que poderá estar sincronizado com a frequência do sinal de informação, ou não. Dependendo desta configuração, os receptores ópticos coerentes podem ser classificados em heterodinos ou homodinos. A detecção coerente exige ao receptor o conhecimento da fase da portadora e da frequência do oscilador local (LO). A maior complexidade da utilização de receptores coerentes torna o mais caro, mas traz como principais vantagens a maior sensibilidade do receptor e o melhor alcance de eficiência espectral. Novas técnicas utilizando processamento digital (DSP) visam com a ajuda de FPGAs realizar a detecção coerente sem a utilização de PLLs, o que diminui o custo de implementação do sistema coerente.

Nesta dissertação, foi escolhido a implementação de sistemas não coerentes de transmissão de dados, a fim de amenizar a complexidade, diminuir custos e o consumo de energia necessária para o funcionamento do sistema.