

基于FSK_ASK的OPS-WDM混合调制格式的研究

周星辰, 汤 灿, 沈炎锐, 刘宏艺, 沈君凤*

湖北大学计算机与信息工程学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2021年11月8日; 录用日期: 2021年12月7日; 发布日期: 2021年12月14日

摘 要

本文提出了一种基于幅移键控(ASK)和频移键控(FSK)的OPS-WDM混合调制格式, 采用了一种基于双并联马赫-曾德尔调制器的调制技术, 本文对调制方案的性能进行了分析研究, 仿真结果表明, 该方法对非线性损伤具有较强的鲁棒性。

关键词

幅移键控, 混合调制, 非线性效应, 光分组交换系统

Investigation of FSK_ASK Hybrid Modulation Format for OPS-WDM

Xingchen Zhou, Can Tang, Yanrui Shen, Hongyi Liu, Junfeng Shen*

School of Computer Science and Information Engineering, Hubei University, Wuhan Hubei

Received: Nov. 8th, 2021; accepted: Dec. 7th, 2021; published: Dec. 14th, 2021

Abstract

The article proposed a novel hybrid modulation format for OPS-WDM using amplitude shift keying (ASK) with frequency shift keying (FSK) labeling. A modulation technique based on a dual-parallel Mach-Zehnder modulator is used. In this paper, the performance of the modulation scheme is studied analytically. Through simulations, it shows robustness to nonlinear impairments.

Keywords

Amplitude Shift Keying, Hybrid Modulation, Nonlinear Effect, Optical Packet Switching Systems

*通讯作者。



1. 引言

全光标签交换直接在光层实现了多协议标签交换的分组路由和转发功能，是下一代网络中一项很有前途的技术。已经提出并实验证明了允许在有效负载分组上添加标签信息的几种混合调制技术，例如具有差分相移键控(DPSK)标记的幅度移位键控(ASK) (ASK/DPSK) [1] [2] [3] [4]，具有 ASK 标记的 DPSK (DPSK/ASK) [5] [6] [7] [8]，具有 ASK 标记的频移键控(FSK) (FSK/ASK) [9] [10]和带频移键控的强度调制(IM/FSK) [10] [11]。与开-关键控调制格式相比，每比特能量恒定的 FSK 调制格式具有更高的接收机灵敏度和更好的非线性性能。在 FSK/ASK 调制方案中，有效载荷信号是 ASK 格式的，而标签信号是 FSK 格式的。ASK-payload 和 FSK-label 的调制过程在光幅度上是不相关的，FSK-label 和 ASK-payload 的解调是独立的，即光滤波器对 FSK-label 的提取过程不会影响 ASK-payload [11]。在以前的工作中，FSK 标签可以通过不同的调制方案生成，例如采用双平行马赫-曾德尔(MZ)调制器的单边带(SSB)调制、采用平行 FSK 调制器的反向数据调制和直接调制激光器[11]-[16]，在 FSK 调制之后，应用额外的高速强度调制器来生成 ASK 有效载荷[9]-[21]。复杂的发射机可能会增加系统的成本，特别是在光分组交换波分复用系统(OPCWDM)中。我们注意到该格式的传输性能得到了改善，并提出了一种新的正交调制方案，将有效载荷和标签同时由调制器产生。我们提出了一种调制方案，只使用一个调制器，本文将该方案应用于 WDM 系统，并对其传输性能进行了分析。

2. 网络设计与分析

一般来说，光分组交换中使用的正交调制信号是通过两个调制步骤生成的，一个步骤是光有效负载的生成，另一个步骤是光标签的调制，如图 1 所示。

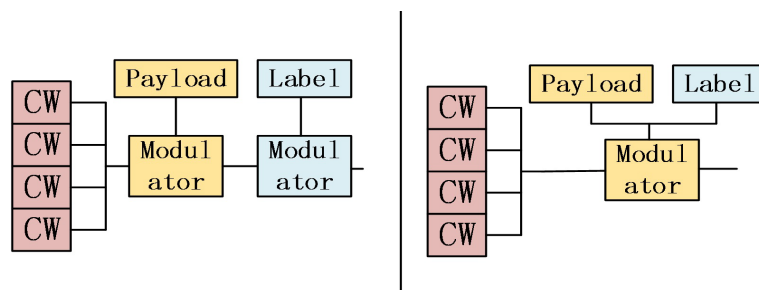


Figure 1. Modulation scheme applying one/two modulator

图 1. 采用一/二调制器的调制方案

然而，本文在调制方案中采用了双并行 MZ 调制器，在前面的工作中，只用于实现 FSK 标签的生成，并将其应用于 ASK 和 FSK 调制，从而降低了系统成本。本文在文献 21 中提出了采用双并行 MZ 调制器的 FSK/ASK 信号的调制原理，并将其作为正交系统。

图 2 示出了基于单调制器的光分组交换机 WDM 系统的网络设计，用于生成高速有效负载信号和低速标签信号。在发射机上，只有一个 RF 余弦信号被划分为 $2N$ 信号；奇数余弦信号直接驱动调制器产生不同的光载波，偶数信号由高速 RZ 信号调制，驱动调制器的其他射频端口。低速 NRZ 信号应通过 RZ

信号多路复用, 实现调制器的相位调制。由于我们以前的工作提出了单调制方案, 高速曼彻斯特编码 ASK 信号和低速 FSK 标签可以由一个调制器和射频发生器产生。

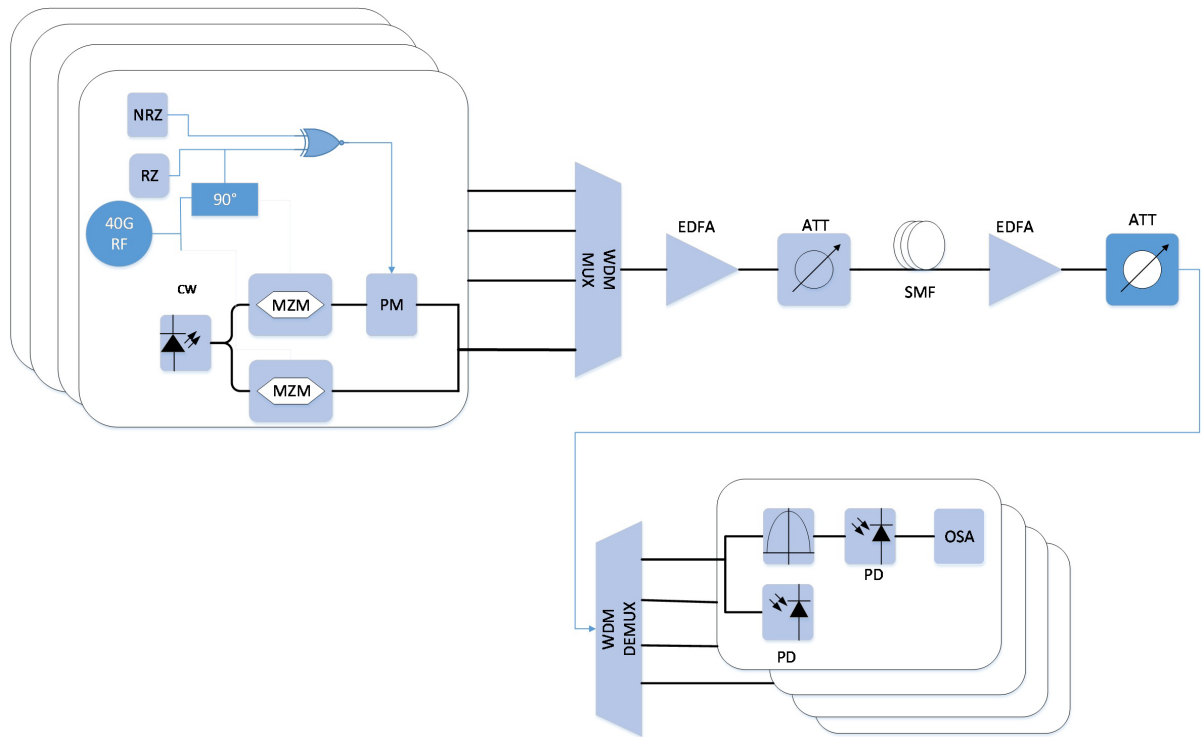


Figure 2. System of OPS-WDM with one modulator
图 2. 单调制器 OPS-WDM 系统

3. 仿真结果

为了研究光标记方案中 FSK 和 ASK 组合的性能, 我们建立了一个光链路, 并通过软件进行了仿真, 如图 3 所示。

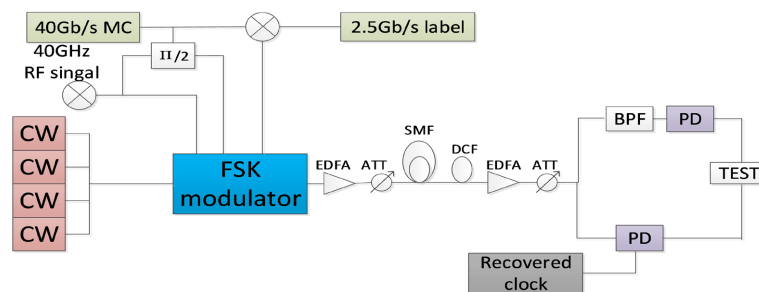


Figure 3. Simulation setup
图 3. 模拟设置

功率为 0 dbm 的连续波激光器的中心频率为 193.1 thz、193.3 thz、193.5 thz 和 193.7 thz。由射频发生器产生的 40 ghz 余弦信号被应用到调制器, 然而, 其中一个余弦信号被 40 gbps 有效载荷信号调制, 该信号在曼彻斯特编码之后。一个 2.5 Gbps 的标签(双极性码)乘以 MC 有效负载, 就得到了相位调制。传输链路由 50 km 单模光纤(SMF)和 10 km 色散补偿光纤(DCF)组成。SMF 和 DCF 的分散度分别为 16.75

ps/nm/km 和 -83.75 ps/nm/km。在中心频率 193.14 thz 处，采用 5 ghz 带宽的光学带通滤波器对 FSK 信号进行解调。从有效负载恢复的归零时钟乘以有效负载以解调 MC 有效负载。

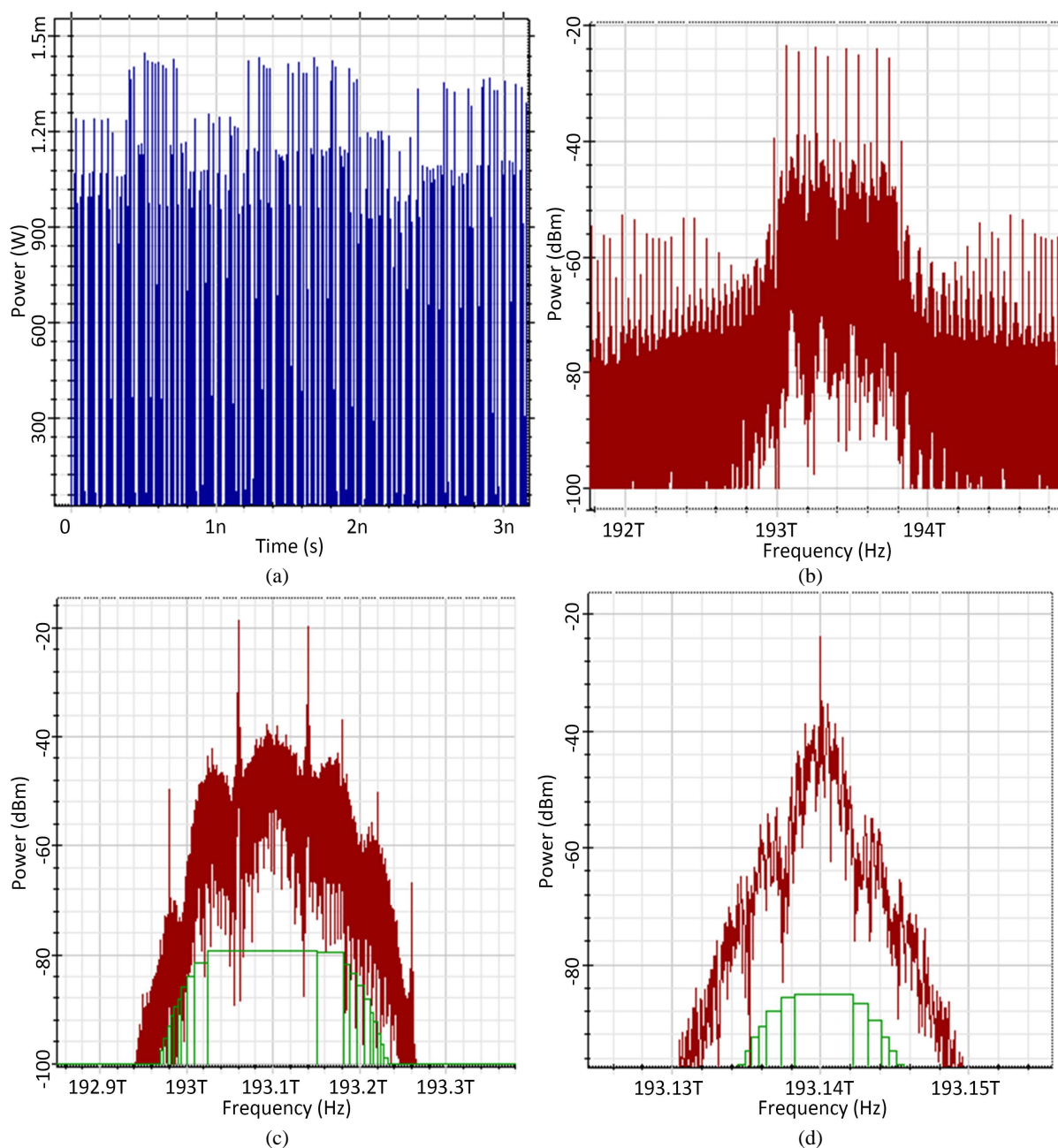


Figure 4. (a) (b) Frequency spectra and optical spectra of the transmitter output, respectively; (c) (d) Optical spectra of the first order and the second order filter, respectively

图 4. (a) (b) 分别是发射机输出的频谱和光谱; (c) (d) 一阶和二阶滤光片的光谱

图 4(a) 和图 4(b) 分别显示了发射机输出的频谱和光谱。从图 4(a)、图 4(b) 可以看出，四个波长的信号幅度是恒定的，这意味着可以实现基于 FSK/ASK 正交调制的 WDM 系统。图 4(b)~(d) 示出了来自 OPS-WDM 系统的 FSK 信号的解调过程。通过适当的滤波器，FSK 信号可以实现无差错传输。

图 5 示出了在 193.14 太赫兹下背靠背(BTB)传输或 50 km SMF 传输的 BER 性能与接收机灵敏度的关

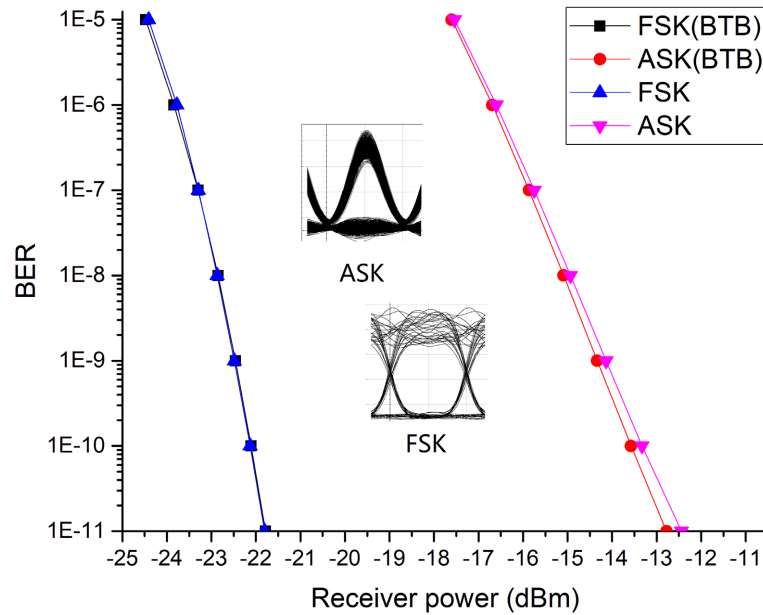


Figure 5. Received power vs. BER under BTB and 50 km SMF transmission
图 5. BTB 和 50 km SMF 传输下的接收功率与误码率

系。插入图是 FSK 标签和 MC 有效载荷在 -9 的对数(BER)处的眼图。睁眼图表明, FSK/ASK 调制方案在 50 km 传输后可以实现无差错传输。与 BTB 传输相比, FSK 标签和 MC 有效载荷在 50 km 传输后的功率损失分别为 0.02 和 0.2 db。结果表明, 该调制方案在长距离光传输网络中具有良好的传输性能。

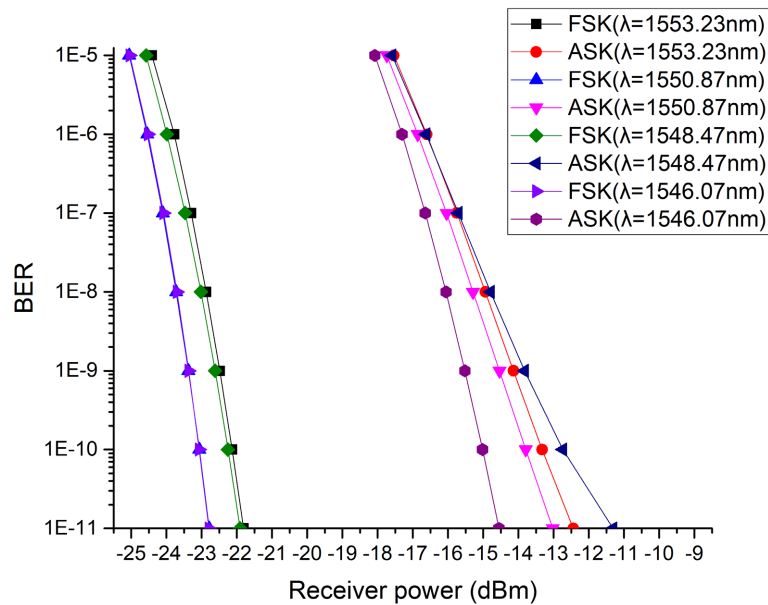


Figure 6. BER performance under different wavelengths
图 6. 不同波长下的误码率性能

图 6 示出了在 OPS-WDM 系统中不同波长下的 BER 性能。对于不同的波长, BER 的性能相同。在误码率为 10^{-9} 时, 低速 FSK 标签的误码率最大为 1 db, 高速 ASK 有效负载的误码率最大为 2 db。此外, 对于 FSK 和 ASK 信号, 对于相邻波长, 例如 $1546.7 \text{ nm} > 1550.87 \text{ nm} > 1548.47 \text{ nm} > 1553.23 \text{ nm}$, BER 表现更好。

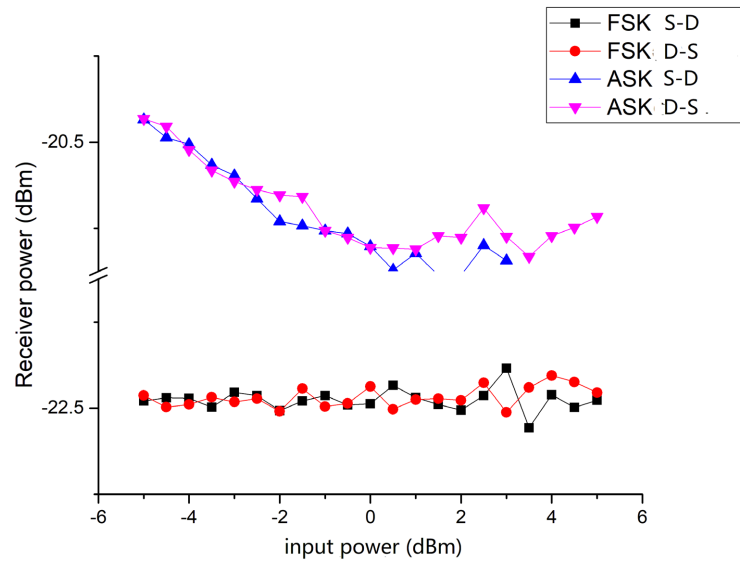


Figure 7. Input power vs. received power under two dispersion compensation schemes

图 7. 两种色散补偿方案下的输入功率与接收功率

光纤的色散是光纤传输系统的重要因素，特别是高速长距离传输。因此，研究 OPS-WDM 系统中的色散具有重要意义。通常，色散补偿采用色散补偿光纤(DCF)来实现完全色散。图 7 示出了在不同输入功率下，采用预补偿(DCF-SMF)和后补偿(SMF-DCF)两种色散补偿方案的传输性能。结果表明，与高速 ASK 标签相比，输入功率对 FSK 标签的影响较小。由于放大器的自发辐射噪声和非线性噪声，在 1 db m 的输入功率下，传输性能较好。此外，在事后补偿下，OPS-WDM 系统的性能比预补偿性能好一些。这是由于 DCF 的高输入功率，会比 SMF 的相同功率产生更高的非线性噪声。

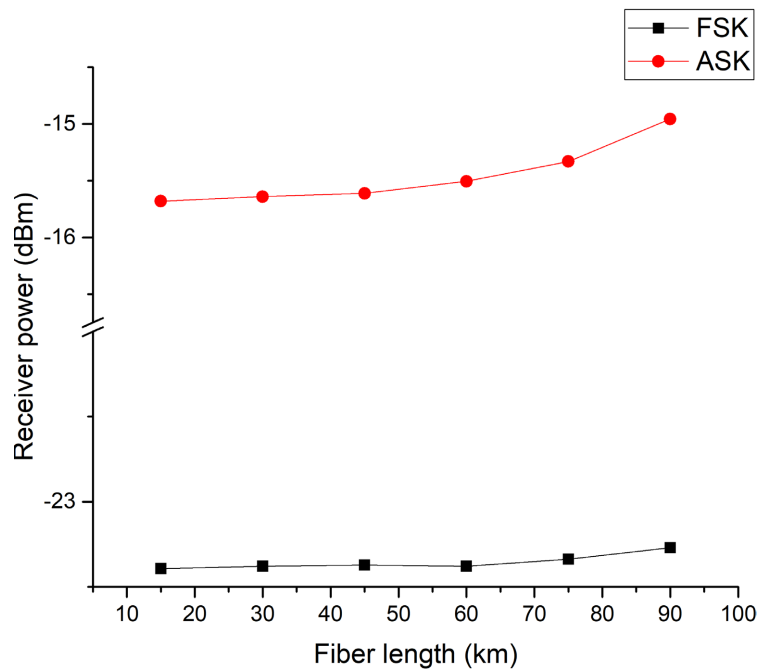


Figure 8. Transmission performance under different fiber length

图 8. 不同光纤长度下的传输性能

图 8 显示了不同光纤长度下的传输性能。该图直接表明, 随着光纤长度的增加和信号传输速度的提高, 信号失真度增大。低速 FSK 信号从 20 kmsmf 到 90 kmsmf 几乎没有失真(约 <0.1 db), 而高速 ASK 标签从 20 kmsmf 到 90 kmsmf 有 1.4db 的功率损失。因此, 在光突发交换波分复用系统中, 对高速有效载荷的研究是非常必要的。

4. 结语

本文提出了一种新的基于幅移键控(ASK)和频移键控(FSK)的 OPS-WDM 混合调制格式, 该调制方式中 FSK/ASK 信号由一个双并联 Mach-Zehnder 调制器同时产生。仿真结果验证了该调制方案在 50 km SMF 后的传输性能, 结果表明, FSK/ASK 调制可以实现四波长复用的无差错传输, 分析了不同影响因素下的传动性能, 研究结果为长距离高速 OPS-WDM 系统提供了重要的理论基础。

基金项目

该项目获湖北省教育厅科学技术研究计划重点项目(项目标号: 20181001)的资助。

参考文献

- [1] Koonen, T., Mothier, G., Jennen, J., Waardt, H. and Demeester, P. (2001) Optical Packet Routing IP-over-WDM Networks Deploying Two-Level Optical Labeling. *Proceedings ECOC*, Amsterdam, 30 September-4 October 2001, 14-15.
- [2] Chi, N., Carlsson, B., Holm-Nielsen, P.V., Peucheret, C. and Jeppesen, P. (2002) Dispersion Management for Two-Level Optically Labeled Signals in IP-over-WDM Networks. *Proceedings ECOC*, Copenhagen, 8-12 September 2002, 1-2.
- [3] Koonen, T., Silur, S., Monroy, I., Jennen, J. and Waardt, H. (2002) Optical Labeling of Packets in IP-over-WDM Networks. *Proceedings ECOC*, Copenhagen, 8-12 September 2002, 1-2.
- [4] Chi, N., Zhang, J., Holm-Nielsen, P.V., Peucheret, C. and Jeppesen, P. (2003) Transmission and Transparent Wavelength Conversion of an Optical Labeled Signal Using ASK/DPSK Orthogonal Modulation. *IEEE Photonics Technology Letters*, **15**, 760-762. <https://doi.org/10.1109/LPT.2003.809922>
- [5] Liu, X., Wei, X., Su, Y., Leuthold, J., Kao, Y.H., Kang, I. and Giles, R.C. (2004) Transmission of an ASK-Labeled RZ-DPSK Signal and Label Erasure Using a Saturated SOA. *IEEE Photonics Technology Letters*, **16**, 1594-1596. <https://doi.org/10.1109/LPT.2004.827859>
- [6] Liu, X., Su, Y., Wei, X., Leuthold, J. and Giles, R.C. (2003) Optical-Labeling Switching Based on DPSK/ASK Modulation Format with Balanced Detection for DPSK Payload. *The European Conference on Optical Communications and Associated Exhibition (ECOC)*, Rimini, 21-25 September 2003, 3-4.
- [7] Chi, N., Milkelsen, C., Xu, L., Zhang, J., Hilm-Nielsen, P.V., Ou, H., Seonae, J., Peucheret, C. and Jeppesen, P. (2003) Transmission and Label Encoding Erasure of Orthogonally Labeled Signal Using 40 Gb/s RZ-DPSK Payload and 2.5 Gb/s IM Label. *Electronics Letters*, **39**, 1335-1337. <https://doi.org/10.1049/el:20030854>
- [8] Peng, W.R., Lu, Y.C., Chen, J.H. and Chi, S. (2006) ASK/RZ-DPSK Labelled Signal Generation Using Only One Mach-Zehnder Modulator. 2006 *European Conference of Optical Communications ECOC*, Cannes, 24-28 September 2006, 4-6.
- [9] He, Z., Tao, Z., Hu, F., Chi, N. and Huang, D. (2013) 40 Gb/s CSRZFSK Signal Generation and Transmission Labeled with ASK in Optical Packet Networks. *Optik*, **124**, 529-532. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2011.12.019>
- [10] Olmos, J.J.V., Monroy, I.T. and Koon, A.M.J. (2003) High Bit-Rate Combined FSK/IM Modulated Optical Signal Generation by Using GCSR Tunable Laser Sources. *Optics Express*, **11**, 3136-3140. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2011.12.019>
- [11] Kawanishi, T., Higuma, K., Fujita, T., Ichikawa, J., Sakamoto, T., Shinada, S. and Izutsu, M. (2005) High-Speed Optical FSK Modulator for Optical Packet Labeling. *Journal of Lightwave Technology*, **23**, 87-94. <https://doi.org/10.1109/JLT.2004.840353>
- [12] Liu, F. and Su, Y. (2008) DPSK/FSK Hybrid Modulation Format and Analysis of Its Nonlinear Performance. *Journal of Lightwave Technology*, **26**, 357-364. <https://doi.org/10.1109/JLT.2007.909906>
- [13] Shao, Y., Chi, N., Hou, C., Fang, W., Zhang, J., Huang, B., Li, X., Zou, S., Liu, X., Zheng, X., Zhang, N., Fang, Y., Zhu, J., Tao, L. and Huang, D. (2020) A Novel Return-to-Zero FSK Format for 40-Gb/s Transmission System Appli-

- cations. *Journal of Lightwave Technology*, **28**, 1770-1782. <https://doi.org/10.1109/JLT.2010.2048413>
- [14] Xin, X., Liu, B., Zhang, L. and Yu, J. (2011) 40 Gb/s FSK Modulated WDM-PON with Variable-Rate Multicast Overlay. *Optics Express*, **19**, 12515-12523. <https://doi.org/10.1364/OE.19.012515>
- [15] Yang, L. and Luo, F. (2016) Novel FSK Format for 40 Gb/s Transmission Using FSK Modulator. *Optics Communications*, **363**, 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2015.11.008>
- [16] Yang, L. and Luo, F. (2016) Orthogonal Modulation System with Manchester-Coded Payload and FSK Label. *Optical Engineering*, **55**, Article ID: 046108. <https://doi.org/10.1117/1.OE.55.4.046108>
- [17] Zhou, R., Xin, X., Zhang, Q., Zhao, K., Zhao, T. and Yu, C. (2010) Study of FSK/IM Orthogonal Modulation System with Optical Manchester-Coded Payload. *Chinese Optics Letters*, **8**, 464-467. <https://doi.org/10.3788/COL20100805.0464>
- [18] Zhang, J., Chi, N., Holm-Nielsen, P.V., Peucheret, C. and Jeppesen, P. (2003) 10Gbit/s Manchester-Encoded FSK-Labelled Optical Signal Transmission Link. *Electronics Letters*, **39**, 1193-1194. <https://doi.org/10.1049/el:20030766>
- [19] Zhou, R., Xin, X.-J., Wang, Y.-J., Zhang, Z.-X. and Yu, C.-X. (2010) An Optical Label Scheme with Novel DPSK/PPM Orthogonal Modulation. *Chinese Physics Letters*, **27**, 115-118. <https://doi.org/10.1088/0256-307X/27/9/094209>
- [20] Shi, Y., Zhang, Q., *et al.* (2011) Label Swapping and Packet Transmission of DPSK-Labeled PPM Signal in Optical Label Switching. *Chinese Optics Letters*, **9**, 11-15. <https://doi.org/10.3788/COL201109.080602>
- [21] Yang, L. and Luo, F. (2017) Realization of FSK/ASK Modulation Format Based on a Dual-Parallel Modulator. *Optical and Quantum Electronics*, No. 8, 260. <https://doi.org/10.1007/s11082-017-1097-1>