

一种副载波复用OLS光分组产生方案

郑勉, 邱昆, 凌云

(电子科技大学 宽带光纤传输与通信网技术教育部重点实验室 成都 610054)

【摘要】提出了一种采用三支干涉型调制器来实现单边带副载波标签的光分组产生方案,通过理论分析和仿真实验表明该方案实现了副载波标签的单边带调制,克服了Mach-Zehnder调制器强度调制导致的副载波信号的非线性失真,但存在着净荷信号对副载波标签信号的强度调制。

关键词 光标签交换; 副载波复用; 调制器; 消光比

中图分类号 TN929.11 文献标识码 A

A Novel Optical Packet Generation Scheme for Subcarrier Multiplexed Optical Label Switching

Zheng Mian, Qiu Kun, Ling Yun

(Key Laboratory of Broadband Optical Fiber Transmission and Communication Networks UEST of China, Ministry of Education Chengdu 610054)

Abstract A novel optical packet generation scheme is proposed based on three branch modulator. Theory analysis and simulation demonstrate that the scheme realizes subcarrier multiplexing label of single sideband and overcomes the nonlinear modulation of Mach-Zehnder modulator on subcarrier signal. The problem of intensity modulation on subcarrier multiplexing label from payload is analyzed.

Key words optical label switching; subcarrier multiplexing; modulator; extinction ratio

在副载波复用(Subcarrier Multiplexing, SCM)光标签交换(Optical Label Switching, OLS)中,副载波标签为模拟信号,为了避免失真,要求进行线性调制;而净荷为数字信号要求大的消光比。由于Mach-Zehnder调制器的输出光强和调制电压的关系为余弦形式,如果将副载波标签信号和净荷信号在电域内复用后,再使用传统的Mach-Zehnder调制器进行调制,则不能同时满足副载波标签的线性调制和净荷的高消光比。此外,由于单边带副载波(Single Sideband Subcarrier Multiplexing, SSB-SCM)信号避免了色散导致的双边带副载波(Double Sideband Subcarrier Multiplexing, DSB-SCM)信号接收功率随光纤长度和副载波频率余弦变化的射频衰退效应(Fading Effect, FE)^[1],因此要求副载波复用OLS中的标签为单边带形式。基于以上两点,本文提出了一种采用三支干涉型调制器,来实现副载波复用OLS中光分组的产生。

1 理论分析

三支干涉型调制器在Mach-Zehnder调制器的基础

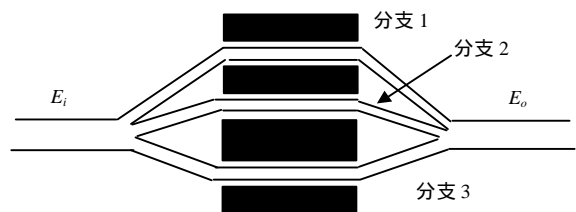


图1 三支干涉型调制器

收稿日期: 2004-07-05

基金项目: 教育部优秀青年教师教学科研奖励计划资助

作者简介: 郑勉(1980-),女,硕士生,主要从事光纤通信技术方面的研究。

上附加一支，如图1所示。设输入光电场强度为

$$E_i = E_{i0} \cos(\omega_0 t) \quad (1)$$

式中 ω_0 为光频率，初始相位为零。经过分支器后的，各分支的电场强度幅度分别为 aE_{i0} ， bE_{i0} ， bE_{i0} 。分支1为净荷信号的相位调制

$$E_1 = aE_{i0} \cos(\omega_0 t + f_0 + P(t)) \quad (2)$$

式中 f_0 为分支1波导长度相对于分支2、3的附加相位， $P(t)$ 为净荷信号调制产生的相位。分支2、3为标签信号的SSB调制^[2]，分别为

$$E_2 = bE_{i0} \cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} + b\pi L(t) \cos \omega_{RF} t) \quad (3)$$

$$E_3 = bE_{i0} \cos(\omega_0 t + b\pi L(t) \cos(\omega_{RF} t + \frac{\pi}{2})) \quad (4)$$

式中 $L(t)$ 为标签信号， ω_{RF} 为副载波频率， b 为调制系数。

在标签信号为小信号调制的假设下， $|b\pi| \ll 1$ ，经过耦合器后，输出光电场强度为

$$E_o = E_1 + E_2 + E_3 = \sqrt{2}b \cos(\omega_0 t - \frac{\pi}{4}) + a \cos(\omega_0 t + f_0 + P(t)) - b b\pi L(t) \cos((\omega_0 + \omega_{RF})t) \quad (5)$$

式中 第一项为光载波信号，第二项为净荷相位调制信号，第三项为上边带标签信号。

输出光的光强 I_o 为

$$I_o = \langle |E_o|^2 \rangle = \frac{a^2}{2} + b^2 + \sqrt{2}ab \cos(f_0 + P(t) + \frac{\pi}{4}) + \frac{1}{2} b^2 \pi^2 L^2(t) - \sqrt{2} b^2 b\pi L(t) \cos(\omega_{RF} t + \frac{\pi}{4}) - ab b\pi L(t) \cos(\omega_{RF} t - f_0 - P(t)) \quad (6)$$

如采用直接探测接收，可采用电域滤波器来分离基带和副载波信号，则前三项代表了净荷信号；第四项为标签信号对基带信号的干扰，在 $|b\pi| \ll 1$ 时可忽略；第五项为标签信号，第六项为净荷信号对标签信号的干扰。

在交换节点，为了更新标签，采用光滤波器滤除旧的副载波标签信息。若在净荷的接收前端附加光滤波器滤除标签信号，则 E_o 经过光滤波器以后的输出信号可以近似为

$$E_p = \sqrt{2}b \cos(\omega_0 t - \frac{\pi}{4}) + a \cos(\omega_0 t + f_0 + P(t)) \quad (7)$$

得到的光强与式(6)中的前三项相同，由探测器得到净荷信号光电流为

$$i_p = R I_p = R (\frac{a^2}{2} + b^2 + \sqrt{2}ab \cos(f_0 + P(t) + \frac{\pi}{4})) \quad (8)$$

式中 R 为响应度。净荷信号的消光比 r 为

$$r = 10 \lg \frac{a^2 + 2b^2 + 2\sqrt{2}ab \cos(f_0 + P_1 + \frac{\pi}{4})}{a^2 + 2b^2 + 2\sqrt{2}ab \cos(f_0 + P_0 + \frac{\pi}{4})} \quad (9)$$

式中 P_1 和 P_0 为净荷信号为1和0时调制产生的相位。由式(9)可知当 $\cos(f_0 + P_1 + \frac{\pi}{4}) = 1$ ， $\cos(f_0 + P_0 + \frac{\pi}{4}) = -1$ ，即

$$f_0 + P_1 + \frac{\pi}{4} = 2k\pi \quad (10)$$

$$f_0 + P_0 + \frac{\pi}{4} = (2k-1)\pi \quad (11)$$

式中 k 为整数时，得到最大的消光比

$$r_{\max} = 20 \lg \frac{a + \sqrt{2}b}{a - \sqrt{2}b} \tag{12}$$

在标签探测时, 在前端加光滤波器, 设光滤波器对基带信号的抑制因子为 \sqrt{z} , 则经过光滤波器后的电场强度为

$$E_L = \sqrt{2z}b \cos(\omega_0 t - \frac{\pi}{4}) + a\sqrt{z} \cos(\omega_0 t + \mathbf{f}_0 + P(t)) - b\mathbf{b}\pi L(t) \cos((\omega_0 + \mathbf{w}_{RF})t) \tag{13}$$

得到的光强为

$$I_L = \langle |E_L|^2 \rangle = \frac{1}{2}a^2z + b^2z + \sqrt{2}abz \cos(\mathbf{f}_0 + P(t) + \frac{\pi}{4}) + \frac{1}{2}b^2\pi^2 L^2(t) - \sqrt{2z}b^2\mathbf{b}\pi L(t) \cos(\mathbf{w}_{RF}t + \frac{\pi}{4}) - \sqrt{z}ab\mathbf{b}\pi L(t) \cos(\mathbf{w}_{RF}t - \mathbf{f}_0 - P(t)) \tag{14}$$

可见由于标签信号的探测必须使用到光载波项, 即式(5)中的第一项, 在使用光滤波器抑制基带信号的同时必然也抑制了载波, 使得接收标签信号的功率下降。因此直接在电域上滤出副载波信号, 得到的副载波信号光电流

$$i_L = RI'_L \sqrt{2Rb^2} \mathbf{b}\pi L(t) \cos(\mathbf{w}_{RF}t + \frac{\pi}{4}) + Rab \mathbf{b}\pi L(t) \cos((\mathbf{w}_{RF}t - \mathbf{f}_0 - P(t))) = Rb\mathbf{b}\pi \sqrt{a^2 + 2b^2 + 2\sqrt{2}ab \cos(\mathbf{f}_0 + P(t) + \frac{\pi}{4})} L(t) \cos(\mathbf{w}_{RF}t - \mathbf{f}') \tag{15}$$

式中 I'_L 为式(6)中的后两项, $\mathbf{f}' = \arctan \frac{a \sin(\mathbf{f}_0 + P(t)) - b}{a \cos(\mathbf{f}_0 + P(t)) + b}$ 。

由式(11)可知标签信号的强度受到净荷信号对其的强度调制。定义强度波动因子

$$\mathbf{h} = 10 \lg \frac{\sqrt{a^2 + 2b^2 + 2\sqrt{2}ab \cos(\mathbf{f}_0 + P_1 + \frac{\pi}{4})}}{\sqrt{a^2 + 2b^2 + 2\sqrt{2}ab \cos(\mathbf{f}_0 + P_0 + \frac{\pi}{4})}} \tag{16}$$

为了完全消除这种强度调制, 要求 $\cos(\mathbf{f}_0 + P_1 + \frac{\pi}{4}) = \cos(\mathbf{f}_0 + P_0 + \frac{\pi}{4})$, 即要求

$$\mathbf{f}_0 + P_1 + \frac{\pi}{4} = k\pi + \Delta\mathbf{f} \tag{17}$$

$$\mathbf{f}_0 + P_0 + \frac{\pi}{4} = k\pi - \Delta\mathbf{f} \tag{18}$$

式中 k 为整数。

由式(9)、(16)可以发现

$$r = 2\mathbf{h} \tag{19}$$

因此净荷消光比和标签的强度稳定是一对矛盾, 在提高净荷消光比的同时也增大了标签信号强度波动。

2 仿真结果

图2所示为 $a=1/2$, $b=1/4$ 和 $\cos(\mathbf{f}_0 + P_0 + \pi/4) = -1$ 时, 净荷消光比和标签的强度波动因子与 $\cos(\mathbf{f}_0 + P_1 + \pi/4)$ 的关系曲线。当 $\cos(\mathbf{f}_0 + P_0 + \pi/4) = 1$, 消光比达到最大值 15.311 dB 时, 强度波动也达到了 7.656 dB。

在光传输设计仿真平台 (Photonic Transmission Design Suite, PTDS) 软件上对 $a=1/2$, $b=1/4$, $\cos(\mathbf{f}_0 + P_0 + \pi/4) = -1$, $\cos(\mathbf{f}_0 + P_0 + \pi/4) = 1$, $\mathbf{b} = 0.05$, 净荷

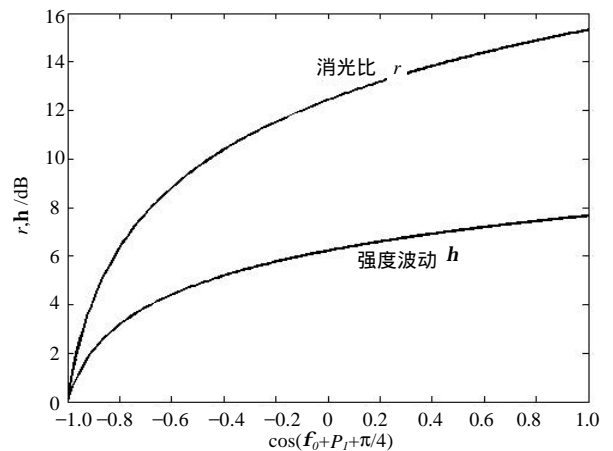


图 2 消光比和强度波动的变化曲线

传输速率2.5 Gb/s,副载波频率10 GHz,标签传输速率155 Mb/s进行仿真实验。图3所示为三支干涉型调制器的输出光功率谱,光波中心频率 $f_0=193.1$ /THZ,光波频率 f_0 , $\Delta f=f-f_0$ 实现了单边带副载波标签的光分组调制。图4所示为调制器输出的光分组信号,副载波标签受到了净荷信号的强度调制,使得净荷信号为0和1时的副载波强度产生波动。其消光比和强度波动因子与理论值吻合,并且满足式(19)。

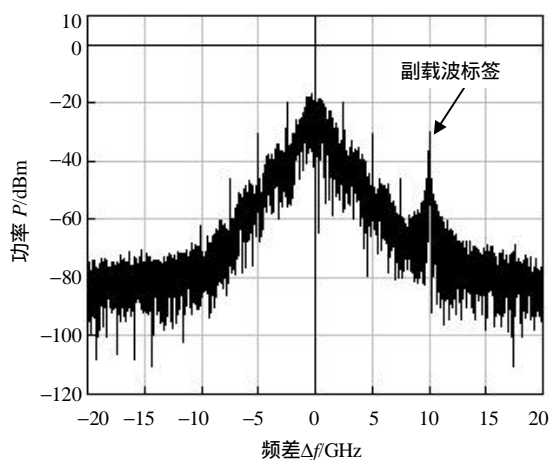


图3 三支调制器输出光功率谱

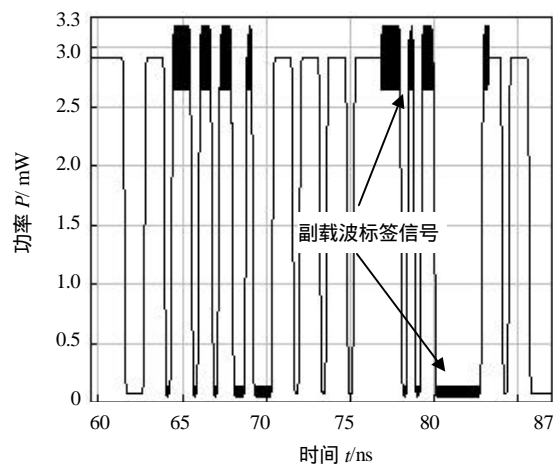


图4 三支调制器输出的光分组信号

3 结束语

本文提出了一种采用三支调制器来产生单边带副载波标签光分组信号的方案,实现了副载波标签信号的单边带调制,避免了Mach-Zehnder强度调制器将副载波信号移到非线性调制区。但其仍存在净荷信号对标签信号的强度调制,有待进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] Zhu Zuqing, Hernandez V J, Jeon M Y, *et al.* RF photonics signal processing in subcarrier multiplexed optical-label switching communication systems[J]. *Lightwave Technol.*, 2003, 21(12): 3 155-3 166
- [2] Hui Rongqing, Zhu Benyuan, Huang Renxiang, *et al.* Subcarrier multiplexing for high-speed optical transmission[J]. *Lightwave Technol.*, 2002, 20(3): 417-427

编 辑 孙晓丹