

文章编号: 0258-7025(2001)11-1010-03

## 脉幅有序变化 OTDM 信号的支路及群路 全光时钟提取\*

宋立军<sup>1</sup> 李世忱<sup>1</sup> 葛春风<sup>1</sup> 余震虹<sup>1</sup> 张劲冶<sup>1</sup> 贾东方<sup>1</sup> 黄超<sup>1</sup>  
于晋龙<sup>2</sup> 马晓红<sup>2</sup> 戴居丰<sup>2</sup> 杨恩泽<sup>2</sup>

(天津大学<sup>1</sup> 精密仪器与光电子工程学院, 教育部光电信息技术科学重点实验室, <sup>2</sup> 电子工程学院 天津 300072)

**摘要** 将含暗帧脉冲的  $4 \times 2.5$  GHz 的光时分复用(OTDM)信号注入一含半导体光放大器(SOA)的锁模光纤激光器, 利用 SOA 的交叉增益调制效应, 提取出 2.5 GHz 的支路时钟信号和 5 GHz, 10 GHz 的群路时钟信号; 群路时钟的提取机制是有理数谱放锁模机制。光时分复用信号采用暗帧脉冲不但可以用来识别支路信号, 而且显著提高了支路时钟信号的质量。

**关键词** 全光时钟提取, 注入锁模, 光时分复用

**中图分类号** TN 929.11 **文献标识码** A

### All-optical Subharmonic and Group Clock Extraction from Unequal-amplitude-sequence Multiplexed OTDM Signals

SONG Li-jun<sup>1</sup> LI Shi-chen<sup>1</sup> GE Chun-feng<sup>1</sup> YU Zhen-hong<sup>1</sup>  
ZHANG Jin-ye<sup>1</sup> JIA Dong-fang<sup>1</sup> HUANG Chao<sup>1</sup>  
YU Jin-long<sup>2</sup> MA Xiao-hong<sup>2</sup> DAI Ju-feng<sup>2</sup> YANG En-ze<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Optoelectronics Information Science and Technology Lab, MOE, <sup>2</sup> College of Electronic Eng., Tianjin University, Tianjin 300072)

**Abstract** A novel method of all-optical subharmonic-frequency clock extraction at 2.5 GHz and group clock extraction at 5GHz and 10GHz is demonstrated from  $4 \times 2.5$  GHz unequal-amplitude-sequence multiplexed OTDM signals that include dark frame pulses. The dark frame pulses used in OTDM signals can not only be used for data recognition, but also improve the quality of extracted optical clock.

**Key words** all-optical clock extraction, injection mode-locking, OTDM

高速光脉冲经历较长距离的传输后, 需要对信号脉冲进行再放大、再整形和再定时(3R), 3R 是高速光通信传输系统和光网络系统的关键技术之一。对光时分复用(OTDM)系统而言, 还需从传输终端提取出支路时钟脉冲, 采用提取的时钟脉冲控制解复用器实现全光解复用。目前实现支路时钟提取主要有以下几种方案: 一是采用电光锁相环(PLL)技术<sup>[1]</sup>, 它是一个复杂的光外差系统, 方案比较成熟,

但缺点是系统过于复杂、昂贵。另外一种方案是采用注入锁模半导体激光器(MLLD)<sup>[2]</sup>, 但其制造技术难度大。第三种方案是采用锁模光纤激光器进行时钟提取<sup>[3]</sup>。在 OTDM 通信系统中, 通常在复用信号中加入帧脉冲, 以判断数据信息属于哪一支路; 另外由于每次初始建立时钟的随机性, 和传输线引入的瞬时噪声使得时钟信号的建立发生相位突变时, 也可根据帧脉冲来定位复用信号的顺序。帧脉冲要能与 OTDM 信号区分开来, 通常用提升帧脉冲的幅度的方法<sup>[4]</sup>, 即采用幅度标志。帧脉冲与信号脉冲幅度不等恰好为实现支路时钟提取创造了条件。

本文利用半导体光放大器(SOA)的交叉增益调

\* 国家自然科学基金(69877012, 69807002)和天津市光电子联合科学研究中心资助项目; 信息产业部武汉邮电科学研究院合作项目。

收稿日期: 2000-07-04; 收到修改稿日期: 2000-08-21

制效应, 采用帧头信号的幅度低于复用信号的幅度, 即帧头为暗帧脉冲, 采用含 SOA 的锁模光纤激光器, 进行了 OTDM 信号的时钟提取实验研究。

## 1 实验方案及结果

实验装置如图 1 所示。

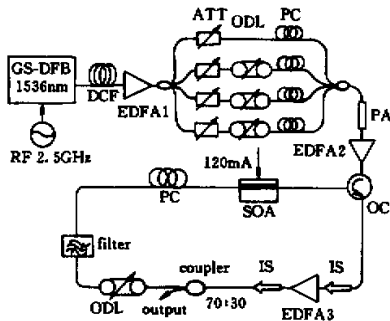


图 1 脉幅有序变化 OTDM 信号的全光时钟提取实验装置

Fig. 1 Experimental setup for all-optical clock extraction from unequal-amplitude multiplexed OTDM signals

信号的产生及复用部分如图 1 上半部分所示: 由 2.5 GHz 射频(RF)驱动的增益开关 DFB 激光器输出的光脉冲通过 2.2 km 的色散补偿光纤(DCF)消啁啾, 得到脉宽小于 20 ps 的光脉冲序列。压窄后的光脉冲通过掺铒光纤放大器 1(EDFA1)后进入时分复用器, 将信号复用到  $4 \times 2.5$  GHz, 复用器采用机械可调的光延时器(ODL)调节各路延时, 通过可调衰减器(ATT)调节四路信号的相对幅度。复用后 10GHz 的信号经 EDFA2 放大, 通过检偏器(PA)检偏, 由光学环型器(OC)注入时钟提取环路。时钟提取环路中的 SOA 提供增益调制, 由于实验使用的 SOA 为负增益器件(3 dB), 所以采用 EDFA3 为腔提供增益, SOA 和 EDFA3 共同提供环路内的交叉增益调制效应; EDFA3 两端各有一光学隔离器, 保证环内光脉冲的单向传输; 由于 SOA 是偏振敏感元件, 在 SOA 前端放置了偏振控制器(PC)。环路中的可调谐窄带滤波器(1530 ~ 1570 nm, FWM=2 nm)用来选择钟提取腔内锁模脉冲中心波长, 并滤除 1536 nm 的注入信号。钟提取环路中采用可变光延时线, 以精确调节腔长满足锁模条件。提取的时钟信号通过 30:70 耦合器输出; 谐波锁模提取的时钟信号通过光通信分析仪和光谱仪探测。

图 2 是当四路复用信号的幅度基本相同时, 复

用后信号和通过锁模提取出的 2.5 GHz 时钟脉冲波形, 此时对应的 DFB 激光器的调制频率为 2.4988 GHz。当降低一路复用信号的幅度, 使其幅度为其他脉冲的 90% 时, 得到 2.4988 GHz 锁模输出的时钟脉冲波形如图 3 所示。当去掉一路复用信号时, 即令帧脉冲幅度为 0, 得到 2.4988 GHz 时钟提取信号波形和光谱如图 4 所示。

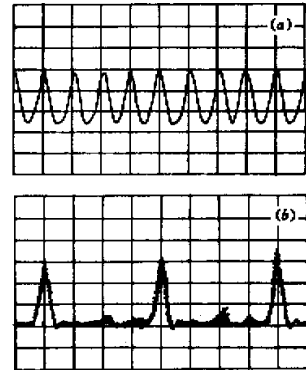


图 2 等幅复用脉冲信号波形 (a) 和 2.5 GHz 时钟提取信号 (b)

Fig. 2 Temporal waveforms of equal-amplitude multiplexed OTDM signals (a) and temporal waveforms of extracted 2.5 GHz clock signals (b)

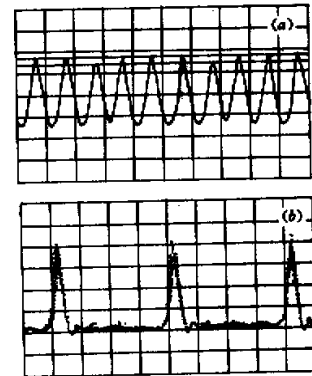


图 3 帧脉冲幅度小 10% 的复用脉冲信号波形 (a) 和 2.5 GHz 时钟提取信号 (b)

Fig. 3 Temporal waveforms of unequal-amplitude multiplexed OTDM signals in which the amplitude of one channel is 90% of the other three (a) and temporal waveforms of extracted 2.5 GHz clock signals (b)

## 2 分析讨论

采用幅度相同的四路复用信号可以实现 2.5



图 4 帧脉冲幅度为 0 的信号波形 (a), 2.5 GHz 时钟提取信号 (b) 及钟信号的光谱 (c)

Fig. 4 (a) Temporal waveforms of unequal amplitude multiplexed OTDM signals in which the amplitude of the frame pulses are zeros, (b), (c) temporal waveforms and power spectrums of extracted 2.5 GHz clock signals, respectively

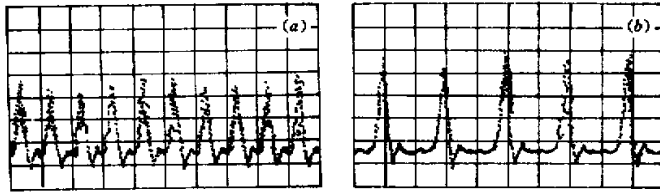


图 5 提取出的 10 GHz 群路时钟波形 (a) 和 5 GHz 的群路时钟脉冲波形 (b)

Fig. 5 Temporal waveforms of extracted 10 GHz (a) and 5 GHz (b) clock signals, respectively

GHz 全光时钟提取, 是因为复用信号不严格相等, 实验测量的四路脉冲的最大间隔差为 4 ps, 所以调制信号包含较大的 2.5 GHz 的调制分量。锁模激光器的基频为  $\Delta\nu_{\text{car}} = 4.988$  MHz, 当 DFB 激光器驱动频率为 2.4988 GHz 时, 实现对应谐波次数 501 的 ~2.5 GHz 支路时钟提取。由图 2 (b) 可以发现此时提取的时钟脉冲底座存在明显的噪声, 时钟信号的信噪比为 8.45 dB, 噪声信号也正对应了另外三路复用信号的位置。当我们一路复用信号的幅度降低到 90% 时, 时钟脉冲的噪声明显降低, 时钟信号的信噪比为 13.2 dB; 而当仅有三路复用信号注入时, 脉冲底座上的噪声已基本消失 (图 4 (b)), 信噪比为 16.8 dB, 尽管此时复用脉冲的间隔仍然是同样不严格相等的。由此可知当采用不等幅复用, 通过注入锁模机制, 可以实现低噪声 2.5 GHz 的时钟提取, 其原因是等幅度复用的信号中存在较强的 2.5 GHz 的调制分量, 幅度相差越大, 2.5 GHz 分量越大, 注入锁模提取出的 2.5 GHz 时钟也越稳定, 时钟噪声也越小。实验过程中当改变帧脉冲幅度时, 提取出的时钟信号的光谱基本不变, 所以我们只给出当帧脉冲幅度为零时提取出的钟信号对应的光谱。实验过程中腔增益和入射到 SOA 光的偏振态对提取的 2.5GHz 时钟信号的质量影响较大, 腔增益主要靠调节 EDFA3 的增益并配合调节 SOA 的静态偏置电流来实现。

当调节射频调制器的调制频率到 2.50005 GHz 时, 得到了 10 GHz 的时钟信号, 当射频调制器的调制频率为 2.50128 GHz 时, 得到了 5 GHz 的时钟信号, 分别如图 5 (a), (b) 所示。2.50005 GHz 对应 4 阶有理数调制频率, 而 2.50128 GHz 对应 2 阶有理数的调制频率, 所以可以实现 10GHz 和 5GHz 的锁模脉冲输出。以 2.5 GHz 为基准, 利用有理数谐波锁模机制提取 5 GHz 和 10 GHz 的群路时钟脉冲, 方法简单。而采用搜索 5 GHz 和 10 GHz 微弱的拍信号进行锁模, 实现 5 GHz 和 10 GHz 的时钟提取, 由于其拍信号幅度较小, 所以锁模不易稳定; 而且由于 5 GHz 和 10 GHz 的拍信号并不是严格的支路信号的整数倍, 所以在长时间运转过程中, 其群路时钟将会产生较大的误差。

#### 参 考 文 献

- 1 O. Kamatani, S. Kawanishi. Ultrahigh-speed clock recovery with phase lock loop based on four-wave mixing in a traveling-wave laser diode amplifier. *J. of Lightwave Technol.*, 1996, 14(8):1757~1767
- 2 Hisakazu Kurita, Ichiro Ogura, Hiroyuki Yokoyama. Ultrafast all-optical signal processing with node-locked semiconductor lasers. *IEICE Tran. Electron.*, 1998, E81-C(2):129~138
- 3 K. Vlachos, et al.. Optical Clock Recovery and Clock Division Circuit. European Conference on Optical Communication 99(ECOC99), I 414, 1999, Nice, France
- 4 Rajiv Ramaswami, Kumar. N. Sivasajan. Optical networks: a practical perspective, Morgan Kaufmann Publishers, California: Inc. San Francisco, 1998, Chap.14, 517