

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0319-04

甚短距离并行光传输模块研究

周新军, 曹明翠, 罗风光, 徐军, 罗志祥, 袁菁

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要 提出了一种满足光互联论坛(OIF)标准的 10 Gbps 甚短距离光传输模块设计方案,该甚短距离(VSR)传输模块主要由高速并行光收发器模块和超大规模接口适配电路组成。讨论了基于面发射激光(VCSEL)的并行光收发器模块结构及高密度光纤阵列耦合封装技术,采用可编程逻辑器件芯片设计了接口适配电路。

关键词 甚短距离; 并行光互连; VCSEL; 接口电路

中图分类号 TP393.4

文献标识码 A

Research on Very Short Reach Parallel Optical Modules

ZHOU Xin-jun, CAO Ming-cui, LUO Feng-guang, XU Jun, LUO Zhi-xiang, YUAN Jing
(State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract This paper describes the design of an OIF-approved 10 Gbps very short reach parallel optical modules, which comprises of high speed parallel optical transceiver and VLSI based interface circuit. The structure of VCSEL based parallel optical transceiver, the coupling and packaging technology of high density fiber arrays are presented. The design of the interface circuit with complex programmable logic devices (CPLD) chip is also described.

Key words very short reach (VSR); parallel optical interconnect; VCSEL; interface circuit

1 引言

随着 Internet 的迅速发展,人们对带宽的需求日益增长。而传统的电信号传输系统及其配套设备已远远不能满足需求,由此带动了光网络系统产业的迅速发展。目前,越来越多的网络设备如路由器、同步光传输体系(SDH)传输设备、光交叉连接设备(OXC)以及密集波分复用(DWDM)设备等被置于中心局所的同一个机房中,这些设备之间及设备内部都是高速数据连接,一般都采用光来互连^[1],并且连接的距离较短(300 m 以内)。

几种较为可行的 VSR 技术规范^[2](表 1 所示): VSR-1, VSR-2, VSR-3 和 VSR-4。这些标准的推出

都是为了降低短距离内 10 Gbps 互连的成本,减小所用元器件的体积,并且能够与设备的 STM-64 电接口兼容,进而可以把发射和接收模块置于设备内部,相当于为设备增加了 VSR 的光接口。在两台具有 VSR 光接口的设备之间,只需用具有标准插头的光缆就可以方便地实现互连。面发射激光器(VCSEL, vertical cavity surface emitting lasers)具有可靠性高、功耗低、无需致冷装置、容易耦合、封装成本低等传统边发射激光器(LD)不可比拟的优点,使得它成为甚短距离(VSR)光传输的理想光源^[3]。在这四种 VSR 标准中,VSR-1 的特点是采用波长为 850 nm 的 1×12 VCSEL 列阵作为光源,通过 1×12 的多模光纤列阵传输^[4]。本文提出的 VSR 方案就是基于 VSR-1 标准。

表 1 OIF 定义的四种 VSR 技术规范比较

Table 1 Comparison of OIF implementation agreements

	Reach	Fiber type	Number of fibers (half duplex)	Laser type	Wavelength
VSR-1	300 m	MMF	12	VCSEL	850 nm
VSR-2	600 m	SMF	1	FP	1310 nm
VSR-3	300 m	MMF	4	VCSEL	850 nm
VSR-4	300 m	MMF	1	VCSEL	850 nm

基金课题: 国家 863 高技术计划(No.2001AA120203)资助课题。

作者简介: 周新军(1973-),男,华中科技大学激光技术国家重点实验室讲师,博士研究生,主要从事光互连、光交换与光电器件研究。E-mail: zhouxin@mail.hust.edu.cn

2 VSR 技术方案

2.1 概述

VSR-1 标准主要针对 OC-192 的帧格式, 将高速的串行信号转换为低速的并行信号, 采用了千兆以太网的传输技术。由于信号速率低, 使用芯径为 62.5 mm 的多模光纤, 光源采用 VCSEL 阵列, 中心波长为 850nm, 波长漂移范围是 830~860nm, 均方带宽可达 0.85nm, 发射功率仅要求为 -10~-3dBm, 信号调制方式为直接调制。接收器采用 PIN 光电二极管阵列。这些方法都大大降低了成本, 减小了体积。图 1 为 OC-192 VSR 的原理性连接。VSR 模块主要由三个部分组成: 1) 转换接口电路(Converter IC)主要完成将来自 OC-192 成帧器的速率为 622.08 Mbps 的 16 位数据总线上的信号转换为速率为 1.244 Gbit/s 的 12 位并行数据信号, 再将这些并行数据信号通过光发射模块转换成光信号经 12 根光纤并行传输; 在接收侧, 进行相反的处理。即完成 OC-192 帧信号和光发射(接收)模块的输入(输出)电信号之间的转换。2) 光发射模块, 其核心器件是 1x12 的 VCSEL 阵列和相关的驱动控制电路, 完成光信号的发射, 实现电-光信号转换和光输出。3) 光接收模块主要由 1x12

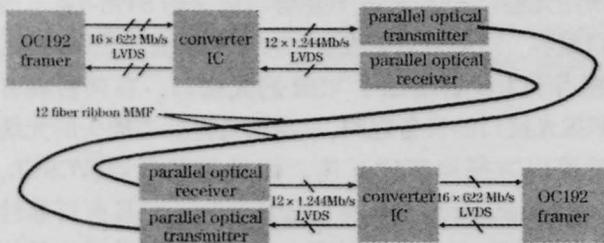


图 1 OC192 VSR 连接示意图

Fig.1 Block diagram of OC-192 VSR link

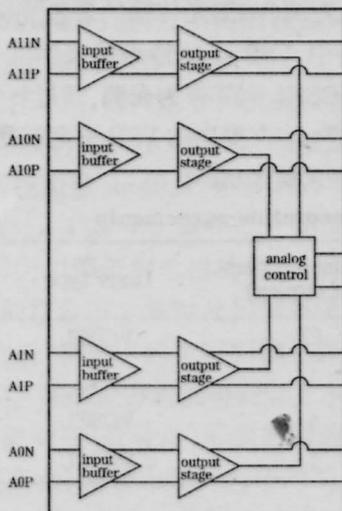


图 3 VCSEL 驱动器与接收器电路芯片功能框图

Fig.3 Configuration of the VCSEL driver LSI and the receiver LSI

的 PIN 探测器阵列和相关的放大检测及控制电路组成, 完成光信号的接收放大整形, 实现光电信号转换和电信号输出。光发射模块与光接收模块之间通过 12 芯的多模光纤带互连, 采用工业标准的 MTP/MPO 或者 SMC 连接器来连接。

2.2 光发射模块与光接收模块设计

图 2 中发射模块由 850 nm 的 1x12 VCSEL 阵列、VCSEL 驱动与控制电路芯片及 12 芯 MT 接口的精密光学耦合组件构成。类似的, 接收模块由 1x12 的 PIN 光电二极管阵列、12 通道的接收放大及控制电路芯片及带 12 芯 MT 尾纤的精密光学耦合组件(OSA)构成。光发射模块和光接收模块采用 12 芯的 MTP/MPO 多模光纤跳线进行连接。

图 3 中驱动与接收电路芯片分别使用 12 条高速信号通道来实现 12 路光信号的发射和接收, 因为信号速率高, 其输入输出均采用差分信号来传输, 以满足传输过程中的信号质量和电磁兼容性要求。其中, VCSEL 驱动电路由输入缓冲级、模拟信号控制及输出级构成。在调制电流为 6 mA 时, 其单通道功

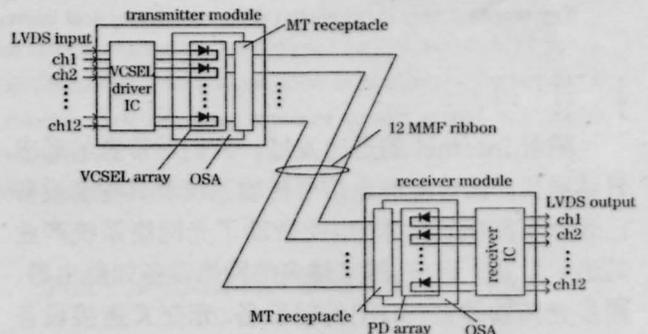
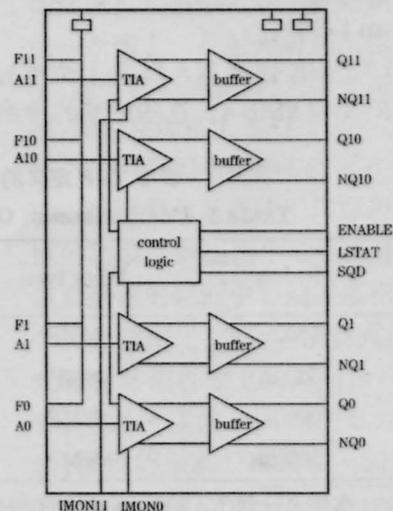


图 2 并行光收发模块原理框图

Fig.2 Block diagram of the parallel optical transmitter and receiver



耗仅 100mW,信号调制速率可达每通道 2.5 Gbps。输入端的差分阻抗为 100 Ω,差分信号的峰峰值为 200~1600 mV,通过外接电阻可实现 VCSEL 调制电流 1~8mA 连续可调。接收放大电路由互阻放大器 (TIA)、输出缓冲级以及逻辑控制部分组成。该电路采用了低功耗设计技术,每通道功耗小于 70 mW,具有智能检测功能,对没有光输入的通道能自动关闭相关电路以降低整个模块的功耗。

图 4 和图 5 分别为 VCSEL 驱动电路芯片的显微照片及研制出的发射模块实物照片。发射模块及接收模块的尺寸均为 17.9 mm×51.5 mm×14 mm,采用类似于 QFP 的表面贴装工艺焊接。

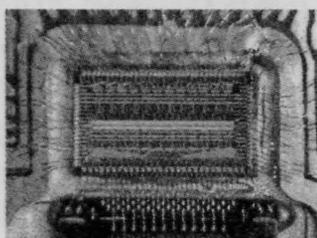


图 4 VCSEL 驱动电路芯片显微照片

Fig.4 A micrograph of VCSEL driver LSI

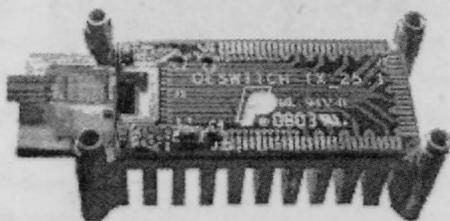


图 5 光发射模块外观图

Fig.5 View of the transmitter

由于 VCSEL 激光器阵列的发光窗口及 PIN 阵列的接收单元间距均为 250 μm,光学单元的密度高,尺寸微小,为了实现各阵列单元与多模光纤带的精确对准,将 VCSEL 激光器阵列光源耦合到光纤阵列的芯层中输出,必须制作具有相应间距的精密光学耦合

组件,从而完成光信号的传输。提出了一种光纤阵列结构和制造工艺^[9],并研制了针对并行光收发模块的直接耦合封装结构^[9],如图 6 所示,该耦合结构具有调整简单、成本低、耦合效率高等特点。图 7 为 VCSEL 阵列耦合到光纤阵列时的显微照片。

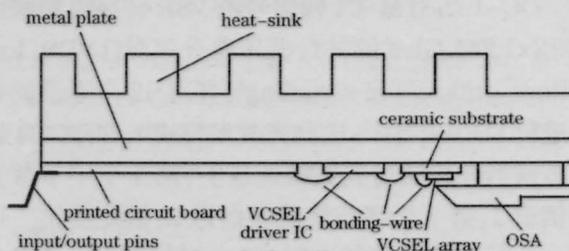


图 6 光发射模块封装结构示意图

Fig.6 Cross-sectional view of the transmitter packaging



图 7 光纤阵列与 VCSEL 阵列直接耦合照片

Fig.7 Direct coupling between fiber array and VCSEL chip

2.3 基于 CPLD 的转换电路模块

复杂可编程逻辑器件 (complex programmable logic devices,CPLD) 具有现场可编程特性,可靠性高,功能强大,开发速度快以及体系结构灵活等特性,因而在数字逻辑系统中获得了广泛的应用。基于整个转换模块所需的逻辑资源、速度要求及 I/O 引脚数目,选择 Altera 公司 Mercury 系列中的 EP1M350 芯片来完成数据转换接口模块的逻辑设计。EP1M350 具有 18 路高速输入输出端口,每个端口内部都集成了高速时钟数据恢复(clock data recovery, CDR)部件,可以支持高达 1.25 Gbps 的输入输出^[7],

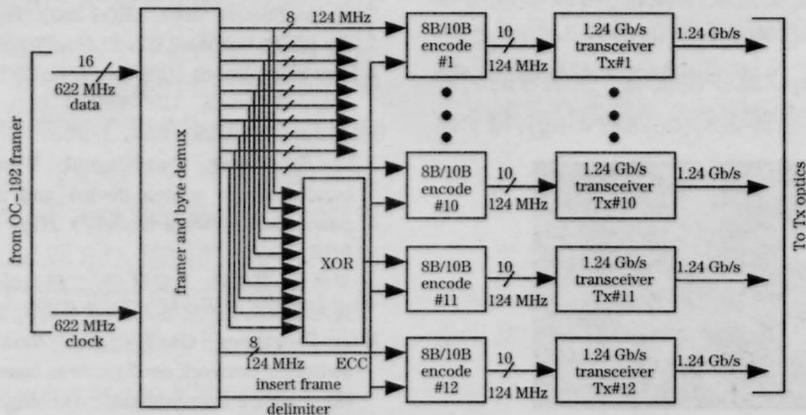


图 8 发送端信号传输框图

Fig.8 Block diagram of transmit direction

能满足千兆以太网 (GigaEthernet) 及 SONET/SDH 应用的需要。

VSR 帧转换适配部分包括收发两个部分,发送和接收部分分别完成相反的功能。图 8 是发送部分的实现方案。

OC-192/STM-64 帧信号由 VSR 转换模块映射成 12×1.244 Gb/s 的并行低压差分信号(LVDS, low voltage differential signaling),并对 12 个通道的数据进行 8B/10B 编码,送到光收发模块^[4]。STM-64 帧按节映射顺序映射到数据通道上,第 1 个字节放置在信道 1,第 2 个字节放置在信道 2,依此类推。同时,并行光传输端的 1.244Gb/s 时钟频率由 STM-64 帧结构中提取得到。在 12 条通道上,通道 1 至通道 10 为数据通道,用以传输数据信息;通道 11 和通道 12 则分别为保护通道和纠错通道。通道 11 是通过前 10 个数据通道进行异或运算,从而得到奇偶检验比特,作为保护数据放置在通道 11 进行传输。当任一通道传输的数据发生错误时,可以通过通道 11 的保护数据进行恢复。由于通道 11 的保护字一直处于传送过程,可以选择是否由其进行恢复处理。当某一信道数据发生错误时,该通道数据可以通过其余 9 个通道的数据和保护通道的数据进行异或(XOR)从而得以恢复;或者不做处理,要求发送端重传该数据。通道 12 采用 16bit 的 CRC ($x^{16}+x^{12}+x^5+1$)校验。每一个通道被分成 24 字节大小的虚拟块,然后对通道 1 至 11 的虚拟块进行校验,每一通道的 24 字节产生 2 字节(16bit)的校验码,一共产生 22 字节的校验码。同时,再对这 22 个字节自身进行校验,这样就产生了 24 字节的校验数据,放置在通道 12 中。同样,校验数据一直传送,可以选择是否进行处理。利用 CDR 通道,将 16 路 622 Mb/s 的并行信号转换为 12 路 1.24Gb/s 的并行信号,与 VCSEL 光收发模块相耦合,可以实现所要求的功能。另外,由于各根光纤之间的不一致性,各个信道的传输延时不同,因此在接收端产生信号的时钟歪斜(skewing)。为了去掉歪斜(de-skewing),每个信

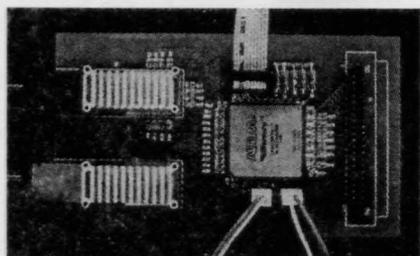


图 9 VSR 实验板外观图

Fig.9 View of the demonstrated board

道上的头 3 个 SDH 的 A1 字节被置换为帧分隔符 (frame delimiter)以利于接收端对信号进行定位。

在接收端,则实现相反的功能。对于右端接收到的每路 1.24 Gbit/s 的数据,首先将其速率降为 124 MHz 的 10 路并行信号,然后对其进行 8B/10B 解码,并根据帧分隔符进行时钟歪斜的恢复,然后将完成的数据送入缓存。对 10 路数据进行同步,并将其复用,重新生成 OC-192/STM-64 的数据帧,从而完成数据转换过程。

3 结 论

成功研制出了每通道速率为 1.25Gbps 的并行光收发模块及满足 OIF-VSR4-01.0 技术规范的 OC192 甚短距离 VSR 实验模块,如图 9 所示。图 10 是输入信号速率为 1.25 Gbps 的 $2^{31}-1$ 伪随机码序列时,发射模块输出光信号的眼图。VSR 技术为低成本的高速数据网提供了一个解决方案,使得在局域网内、局内等短距离场合传输宽带高速数据成为可能。

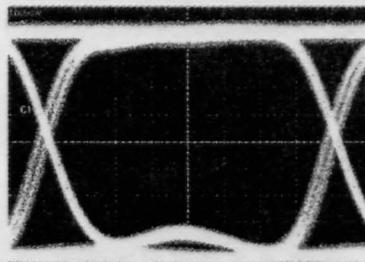


图 10 光发射模块输出波形眼图

Fig.10 Optical output waveform of the transmitter

参 考 文 献

1. H. J. Chao, Wang Tishiang Wang; An optical interconnection network for terabit IP routers [J]. *J. Lightwave Technology*, 2000, 18(12):2095-2112
2. OIF Very Short Reach (VSR) Interface Implementation Agreements, Optical Internetworking Forum
3. P. L. Pondillo. Use of multimode fiber and 850 VCSEL arrays for high-speed parallel interconnects[J]. *Lasers and Electro-Optics Society*, 2001. LEOS 2001. The 14th Annual Meeting of the IEEE, Volume:2, 12-13 Nov. 2001, 907:841-842
4. Very Short Reach (VSR) OC-192/STM-64 Interface Based on Parallel Optics, OIF-VSR-4-01.0, Optical Internetworking Forum, 2000, 18.
5. Luo Fengguang, Cao Mingcui, Wan Anjun et al.. 2-D fiber bundle arrays access device and its application in optical connection network model[J]. *High Technology Letters*, 1999, 9(10):21-24
罗风光, 曹明翠, 万安君等. 二维光纤阵列接口器件及其在光互连网络模块中的应用[J]. *高技术通讯*, 1999, 9(10):21-24
6. Luo Fengguang, Cao Mingcui, Zhou Xinjun. Improved optical switching network configuration based on optical interconnection, Optical transmission, switching, and subsystems[C]. *SPIE*, 2003, 5281:3-41
7. Mercury device datasheet, <http://www.altera.com>