

10Gbit/s 并行光收发模块在万兆以太网的应用*

周 毅 陈弘达 左 超 贾久春 申荣铨

(中国科学院半导体研究所 集成光电子学国家重点联合实验室, 北京 100083)

摘要: 介绍了万兆以太网技术(10 gigabit ethernet technology). 万兆以太网使用以太网结构实现 10Gbit/s 点对点传输, 距离可达到 40km, 使以太网的应用从局域网扩展到城域网和广域网. 重点介绍了万兆以太网的功能结构、分层结构、物理传输介质和甚短距离(very short reach)网络传输的并行光传输系统在万兆以太网方面的应用.

关键词: 10G ethernet; XAUI; XGMII; VSR; VCSEL

EEACC: 4150; 6260C

中图分类号: TN495 文献标识码: A 文章编号: 0253-4177(2005)S0-0233-05

1 引言

近 20 年来, 随着全球信息化进程步伐的不断加速, 以太网技术获得迅猛发展. 从最初 Metcalfe 研发的 2.94Mbit/s 发展到星形的双绞线 10BaseT 10Mbit/s, 并很快发展到可以使用五类线传输的 100BaseTX 100Mbit/s, 接着发展到以短波长光纤 1000Base-SX、长波长光纤 1000Base-LX 和五类线 1000BaseT 为传输介质的 1000 Mbit/s. 现在完全以光纤传输的万兆以太网技术已经开始浮出水面.

2 万兆以太网的原理和组成

2.1 万兆以太网的功能结构

万兆以太网主要由媒质接入控制(MAC)层、联接 MAC 层和物理层接口、物理层和物理传输介质四部分组成, 其功能结构如图 1 所示. 万兆以太网技术由于使用纯光纤传输系统, 传输能力加大, 传输误码率降低, 以前通用以太网中的带碰撞检测的载波监听多重访问(CSMA/CD)机制不再使用^[1].

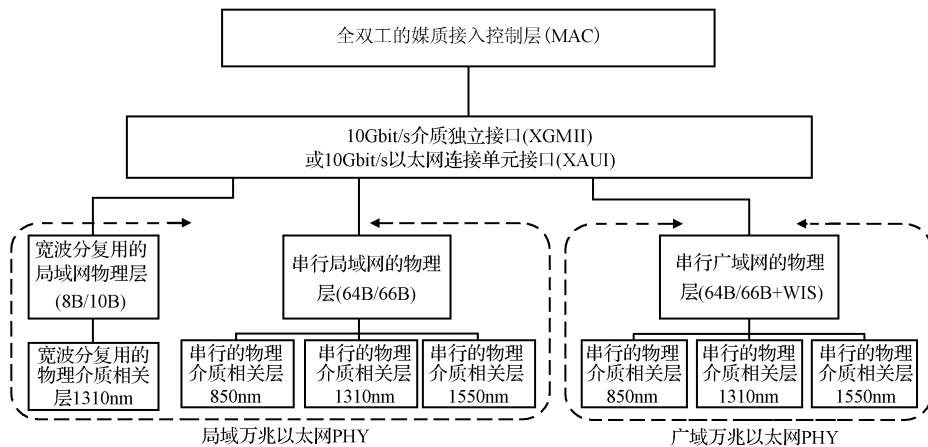


图 1 万兆以太网的功能结构

Fig. 1 10Gbit/s ethernet functional block diagram

* 国家高技术研究发展计划资助项目(批准号:2001AA122032, 2002AA312240)

通过一个工作于全双工方式的媒质接入控制 (MAC) 层和 10Gbit/s 介质独立接口 (XGMII) 或 10Gbit/s 以太网连接单元接口 (XAUI) 联接, 再向下联接的就是万兆以太网的物理层和物理传输介质. 媒质接入控制 (MAC) 层对应的是 OSI 模型中的数据链路层, 而以太网的物理 (PHY) 对应于 OSI 模型的物理层.

为了分别在局域网和广域网上应用^[2], 万兆以太网的物理层分为两大类:

(1) 局域万兆以太网的物理层: 包括宽波分复用的物理层和串行的物理层. 宽波分复用的局域物理层是惟一采用 8B/10B 编码的物理层编码结构, 其他皆为 64B/66B 编码, 串行的物理层定义了三种使用不同物理传输介质的物理介质相关层.

(2) 广域万兆以太网的物理层: 包含一个广域网接口子层 (WIS). 广域网接口子层含有一个简化的 SONET/SDH 成帧器. 可以把 SDH STM-64 复接成 SDH OC-192, 其数据传输速率约为 9.58Gbit/s. 和局域万兆以太网的物理层类似, 它也定义了三种使用不同物理传输介质的物理介质相关层.

2.2 万兆以太网的分层结构

万兆以太网的分层结构如图 2 所示. 万兆以太网和现有以太网最大的不同是万兆以太网兼容 SONET. 因为以太网是异步的, 在高速率长距离传输的广域网中, 时钟频率和相位产生比较大的抖动. 加上 SDH OC-192 的有效传输速率约为 9.58Gbit/s, 和局域万兆以太网的传输速率是有差异的. 为了适应 SONET 的兼容, 对以太网的帧结构做了一定调整, 在其中增加了长度域和 HEC 域. 以太网的最大帧长为 1518 字节, 所以必须用两个字节指示帧长, 这两个字节填充到长度域中. 然后在复接帧中对这两个字节进行 CRC 校验, 所得到的两个字节填充到 HEC 域中.

万兆以太网增加了一个 XAUI 接口. “X”代表 10Gbit/s, “AUI”代表以太网连接单元接口, 它是对 XGMII 接口的扩展. 从 XGMII 到 XAUI 的转换在 XGXS 里完成. 在 MAC 层和物理层间, 由 XGMII 联接. XGMII 提供了一个全双工, 传输速率为 10Gbit/s 数据通道. XGMII 的两个单向通道独立工作, 各包含 32 位数据总线、时钟信号线和控制信号线, 双向总线共为 74 条数据线. 但是 XGMII 接口工作距离仅为 7cm, 这使它的作用大大受限. 为了克服

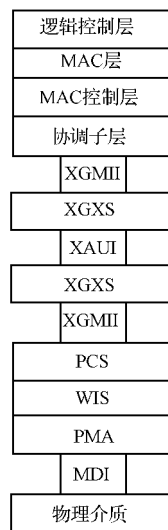


图 2 分层结构

Fig. 2 Layer construction

这个缺点, 在 XGMII 上扩展了一个接口, 即 XAUI. XAUI 的传输速率比 XGMII 快, 数据位宽比 XGMII 小, XAUI 是全双工, 传输速率为 12.5Gbit/s 数据通道. 它包含两个独立工作的单向通道, 每个通道由 4 位自发时钟的串行差分总线组成, 每一个串行差分链路的传输速率为 3.125Gbit/s, 采用 8B/10B 编码方式进行编码, 4 位差分总线有 8 条数据线, 两个通道共 16 条数据线. 由于它采用差分总线, 总线间的电磁干扰很小; 采用自发时钟使得其时钟和数据的变形补偿能力大大加强. 以上的特点使得 XAUI 的工作距离扩展到了大约 50cm, 从而可以应用到芯片间、板间甚至是芯片光纤联接等领域中. 实际上 XAUI 不仅可以作为 XGMII 扩展的一个数据接口, 也可以完全代替 XGMII 的功能.

XAUI 有一定的自适应功能. 由于采用 8B/10B 编码, 在它的总线中可以传递一些控制字符. 这些控制字符在插入附加帧间隔 (IPG) 期间或空闲期间使用, 可以维持连接以及差分总线的字节对齐. 控制字符 “K” 是用来实现帧同步的. 当任一差分信道中检测到字符 “K” 就把该字符以后的内容解码后放入同一个帧中. 但是由于 4 个差分信道独立工作, 各个信道中的 “K” 字符可能不会同时到达, 于是 XAUI 定义了一个 “A” 控制字符. 在插入附加帧间隔 (IPG) 期间, 当信道检测到字符 “A”, 各个独立的信道按字符 “A” 对齐, 从而纠正信道的传输字节歪斜, XAUI 可以纠正 40bit 长度 (12.8ns) 的字节歪斜. 除此之外, 在接收端和发送端的时钟是有差异的, XAUI 定义

了一个“R”字符来进行调节。XAUI 在检测到接收的数据速率和将发送的数据速率的差异后,可以在插入附加帧间隔中增加或删减“R”字符来校正接收和发送的数据速率的差异,从而尽量实现同速率传输。

物理编码(PCS)子层联接着协调(RS)子层和物理介质接入(PMA)子层。PCS 子层的功能是将经过 MAC 层传来的数据映射到自身的编码和物理层信号系统上去。XGMII 接口联接 PCS 子层和 RS 子层,PMA 服务接口使其与 PMA 子层联接。除了宽波分复用的局域万兆以太网的 PCS 层采用 8B/10B 编码外,其他类型的万兆以太网 PCS 子层都是采用 64B/66B 编码。

在广域万兆以太网的物理层定义了一个可选的广域网接口子层(WIS),它联接着物理编码(PCS)子层和物理介质接入(PMA)子层。由于 SDH OC-192 的有效传输速率约 9.58Gbit/s,和万兆以太网的 10Gbit/s 并不相同,在 WIS 子层接收到 MAC 层 10Gbit/s 数据后,必须把它进行一定的速率转换才能变成 SONET 的速率进行传输。WIS 定义了插入附加帧间隔的功能,在接收的以太网帧之间插入附加帧间隔来调整传输速率,附加帧间隔的字节数和以太网帧的长度成正比。经过 WIS 调整后万兆以太网的传输速率变为 SDH OC-192 的传输速率在广域网中传输。SONET 是一个同步传输网络,要求接收端和发送端共用一个时钟,以太网是异步传输网络,接收端和发送端的时钟不完全相同。万兆以太网的接口并不是 SONET 的同步接口,其帧结构和 OC-192 帧结构有一定的差异。WIS 是一个经过简化的 OC-192 成帧器。它产生的帧虽然含有 OC-192 的帧格式、指针、映射以及分层开销,仅保留了同步定位字节 A1 和 A2、踪迹字节 J0、段层误码监视 B1、保护倒换字节 K1 和 K2、同步状态字节 S1 及备用字节 Z0,其他的字节填充均 0bit。这样不仅可以使网络管理人员把广域万兆以太网的网物理层网络近似看为 SONET/SDH 网络查看广域网物理层的信息,进行性能监测和故障隔离,并且由于其数据不是采用低速率复用到高速率数据流的方法,而是直接放到 OC-192 净荷中,所以同时避免了复杂的同步复用过程^[3]。WIS 和 PMA 子层之间还定义了一个 10G 的 16bit 接口(XSBI),它把一个 OC-192 帧分为 16 路传输。

物理介质接入(PMA)子层联接在物理编码

(PCS)子层和物理介质相关接口(MDI)间。它的功能是提供一个串行化服务接口,可以实现时钟恢复和并/串或串/并转换功能,同时还可以从接收数据中分离出用于帧定界的对准符号以及对接收/发射激光器的驱动。

物理介质相关接口(MDI)联接物理介质接入(PMA)子层和万兆以太网的物理传输介质。

万兆以太网是全光纤传输的网络,全部用光纤组网。其连接方式如表 1 所示。从表中可以看到万兆以太网定义了多种传输光纤,距离覆盖了从 0.1~40km 多种应用。在局域万兆以太网中,VCSEL 的使用是比较多的。由于它用多模光纤并行传输的方式,激光器采用垂直腔面发射器,成本大大降低,而且没有使用波分复用技术,实现起来相对比较简便。

表 1 万兆以太网的组网光纤

Table 1 Fibers of 10Gbit/s ethernet

收发机波长 /nm	光纤 类型	复用 类型	激光器 类型	传输距离 /km
850	多模	串行	VCSEL	0.3
850	多模	粗波分复用	VCSEL	0.1~0.3
1310	多模	串行	DFB	2~10
1310	单模	宽波分复用	DFB	0.1~10
1550	单模	串行	DFB	2~40

3 10Gbit/s 并行光收发模块在万兆以太网的应用

光网络互连论坛(OIF)制订了使用垂直腔面发射激光器阵列并行光收发模块在较短距离里实现高速率传输的多个标准。在很多方面 10Gbit/s 并行光收发模块和万兆以太网是密切相关的,可以应用到万兆以太网中。我们使用 10Gbit/s 并行光收发模块的 VSR4-1.0 标准为例来看两者之间的联系。

VSR4-1.0 功能原理如图 3 所示。其数据发送的过程是:首先 OC-192 成帧器发出一个标准的 OC-192 帧,其传输速率约为 9.95Gbit/s。该帧通过 16 路工作时钟为 622MHz 的信道传给多路分离转换器,生成 10 路位宽为 8 位数据通路和 2 路附加通路,其第 11 路是奇偶校验通路,第 12 路是 CRC 通路。这 12 路通道的信号经过 8B/10B 编码后传给并/串转换器。并串转换器把串化后的数据流送给 VCSEL 激光器,通过 12 路 850nm 的多模并列光纤进行传输。数据接收过程与上述过程类似,其工作距离为 0.3km。

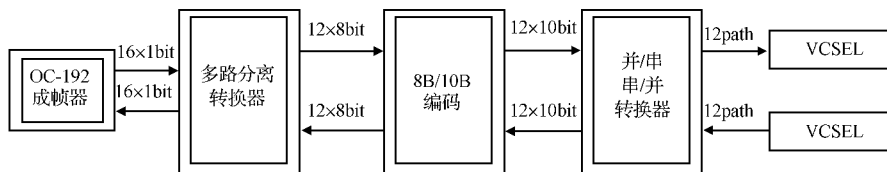


图 3 VSR4-1.0 的功能原理图

Fig. 3 VSR4-1.0 functional block diagram

VSR4-1.0 作为一种传输标准 OC-192 帧的系统,和万兆以太网很容易兼容. 只要把其成帧器换成 WIS 的简化成帧器,原来 OC-192 的成帧器和多路分离转换器间的 16 路传输信道可以通过万兆以太网中定义的 XSBI 接口直接传输. 再加入万兆以太网 WIS 上层的其他模块,就可以在 0.3km 以内实现广域万兆以太网的传输. 10Gbit/s 并行光收发模块直接移植到万兆以太网中. 并/串和串/并转换器可以移植到 PMA 子层,帧定界和时钟恢复等功能通过修改后也可以移植到 PMA 子层,可以实现 PCS 子层及以下子层的所有功能. 这样再加上 PCS 子层及以上子层,就可以产生一个采用 850nm 光纤和 VCSEL 技术的标准局域万兆以太网.

4 结束语

万兆以太网是以太网技术在传输速率和传输距离上的进一步扩展,对于具有很强生命力的以太网技术而言似乎是个自然的过程. 但是由于万兆以太网在传输速率和距离上已经可以满足广域网的要求,而且万兆以太网对 SONET 的兼容使它可以直接被广域网采用,以太网把影响力扩张到广域网的

领域. 这可以说是以太网技术的一个突破,第一次我们可以采用全以太网结构搭建局域网、城域网和广域网的网络体系结构. 万兆以太网技术秉承以太网的技术简单、运行高效、成本低廉等优点对现有广域网技术发起冲击,虽然现在广域网设备中占据的比例并不大,但是其扩大趋势越来越强烈. 无论在广域网中或是在局域网中都可以移植 VSR 技术实现万兆以太网. 随着 VSR 技术的发展,已经可以在数公里距离内实现 40Gbit/s 的数据传输. 这为以太网向更高速度扩展奠定了一定的基础. 我们可以预测,以太网技术必然会向更高速度发展.

参考文献

- [1] Cunningham D G. The status of the 10-Gigabit Ethernet standard. European Conference on Optical Communication, 2001,3:364
- [2] Tolley B. Moving the decimal point: 10Gigabit Ethernet applications and market opportunity. Conference Proceedings-Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting-LEOS,2000,1:288
- [3] Cueni T, Gilligmann B. 10Gigabit Ethernet-breaking the LAN/MAN/WAN barriers. ComTec,2001,79(7/8):3

Application of 10Gbit/s Parallel Laser Transceiver Module to 10Gbit/s Ethernet *

Zhou Yi, Chen Hongda, Zuo Chao, Jia Jiuchun, and Shen Rongxuan

*(State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Institute of Semiconductors,
Chinese Academy of Science, Beijing 100083, China)*

Abstract: Application of 10Gbit/s parallel laser transceiver module to 10Gbit/s ethernet is introduced in this article. It extends the operating speed of ethernet to 10Gbit/s and extends its effective distance to 40km. Therefore, ethernet application space not only is limited in LAN links and MAN links but also includes WAN links. We present its architecture components, layer construction and physical medium. Then we discuss a few application of VSR to 10Gbit/s Ethernet.

Key words: 10G ethernet; XAUI; XGMII; VSR; VCSEL

EEACC: 4150; 6260C

Article ID: 0253-4177(2005)S0-0233-05