

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.05.019

100G 比特以太网物理层标准和传输问题

吴海平¹, 敖志刚¹, 孙小波¹, 智军²

(1. 解放军理工大学 工程兵工程学院, 江苏 南京 210007; 2. 镇江船艇学院, 江苏 镇江 212003)

摘要: 为了获得超高宽带以太网的支持, 介绍IEEE802.3ba工作组对100G比特以太网制定的标准, 叙述应对高带宽需求发展的高速传输光纤技术, 分析网络信号调制方式及其优缺点, 讨论100G比特以太网信号传输的解决方法。

关键词: 100G比特以太网; 标准; 带宽; 数据速率; 调制方式

中图分类号: TT393.03 **文献标识码:** A

100 Gigabit Ethernet Physics Standards and Transmission

WU Hai-ping¹, AO Zhi-gang¹, SUN Xiao-bo¹, ZHI Ju²

(1. Engineering Institute of Engineering Corps, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China; 2. Zhenjiang Watercraft College, Zhenjiang 212003, China)

Abstract: In order to obtain the support of Ethernet ultra-broadband, introduce the 100 Gigabit Ethernet standard instituted by IEEE802.3ba working group, and describes the response to the development of high-bandwidth needs of high-speed fiber technology. The network signal modulation formats and their advantages and disadvantages are analyzed while solutions to transmit 100 Gigabit Ethernet signals are discussed.

Keywords: 100 Gigabit Ethernet; Standards; Bandwidth; Data rate; Modulation fashion

0 引言

随着互联网和其他数据业务的高速发展, 对带宽需求的增长影响到网络的各个部分, 以太网技术可以满足这样的需求, 能够简单、经济地构建多种速率的网络。2006年7月, IEEE802.3成立了高速研究小组 (Higher Speed Study Group, HSSG) 来定义100G比特以太网 (GbE) 标准, 2007年12月, HSSG正式转变为IEEE802.3ba特别工作小组, 来制定在光纤和铜线上实现40 Gbps和100 Gbps数据速率的标准。100 GbE适用于聚合及核心网络应用, 而40 GbE则适用于服务器和存储应用。故对100G比特以太网物理层标准和传输问题进行研究。

1 100G 比特以太网物理层标准

随着计算机网络的发展, 铜和光物理层解决方案也在不断地发展, 并把传输距离提升至几百米甚至几十公里。开发100G比特以太网标准是以太网行业面对不断增长的带宽密集应用为网络带来的带宽压力做出的响应^[1]。

1.1 IEEE 802.3ba 特性

1) 仅支持全双工通信; 2) 仍维持802.3以太网

MAC层的帧格式; 3) 保持目前802.3标准中的最低和最高帧长度; 4) 支持更好的不大于 10^{-12} 的误码率; 5) 提供对光传输网络的适当支持; 6) 支持100 Gbps的MAC数据传输速率; 7) 提供物理层的规格来支持100 Gbps的操作等^[2]。

1.2 物理层规范的表达方式

100G 比特以太网的命名方式为“100GBase-abc”, 字母“a、b、c”分别代表其工作波长、物理层编码方式和波长复用数。

当字母“a”为S、L和E时, 分别表示工作波长是短波长(850 nm)、长波长(1 310 nm)和超长波长(1 550 nm); 当字母“b”为X、R和W时, 分别表示8B/10B、64B/66B、64B/66B+STS-192封装的物理层编码方式; 当字母“c”为1和n时, 分别表示单波长和n个波长的复用方案。

1.3 物理层性能标准规范描述^[3] (见表1)

1) 100GBase-CR10。在10对同轴铜缆上传输, 物理介质相关层支持的传输速度为100Gbps, 适用于短距离连接。

2) 100GBase-SR10。网络为星形拓扑结构,

收稿日期: 2010-01-03; 修回日期: 2010-02-21

基金资助: 下一代高速以太网物理层体系架构与实现技术研究 (SBK200921910)

作者简介: 吴海平 (1984-), 男, 山西人, 解放军理工大学在读硕士, 从事指挥自动化与战场环境数字化研究。

使用低成本光纤（850 nm），支持多模光纤传输超过 100 m，数据速率为 10 Gbps，该网络支持并行方式，使用每个方向并行 10 条波长的高带宽 OM3（50 μm 纤芯）多模光纤（Multi Mode Fiber, MMF）。

3) 100GBase-LR4。使用密集波分复用(Dense WDM, DWDM)技术，使用成本高于 SR 的单模光纤（Single Model Fiber, SMF）（1 310 nm），数据速率为 25 Gbps。该网络物理介质相关层在单对光纤上以 4 倍光波长发送信号，需要复杂的光纤定位以支持 10 km 的传输。

4) 100GBase-ER4。使用密集波分复用技术，单模光纤串联方案传输，使用超长波长（1 550 nm），数据速率为 25 Gbps。该网络物理介质相关层每条单模光纤每个方向上传输超过 4 条波长。为达到 40 km 的传输距离，将需要半导体光放大器（semiconductor optical amplifier, SOA）技术。

表 1 100G 比特以太网标准规范

标准名称	传输距离	速率描述	介质描述
100GBase-CR10	至少 10 m	“n”×10 Gbps	同轴铜缆
100GBase-SR10	至少 100 m	“n”×10 Gbps	多模光纤
100GBase-LR4	至少 10 km	4×25 Gbps	单模光纤
100GBase-ER4	至少 40 km	4×25 Gbps	单模光纤

2 超高速的传输技术

按照目前的网络运营情况，网络带宽由于视频和多媒体的应用而日显拥挤，预计最近一两年内，可能需要操作者把网络高速链路提升到 100 Gbps。从以往的经验看，网络需求预测应该谨慎处理，但显而易见骨干网络再次迅速发展。在此背景下，设备提供者必须为能够传输 100 Gbps 信号的下一代收发器做好准备。而 100G 比特以太网的应用已经在高速研究小组的讨论中^[4]。

1) 时分复用（Time Division Multiplexing，TDM）是把一个传输通道进行时间分割以传送若干话路的信息，把 N 个话路设备接到一条公共的通道上，按一定的次序轮流给各个设备分配一段使用通道的时间。

高速光传输实验中，已较早地使用了时分复用技术，其数据速率达到了 160 Gbps^[5]。这些实验显示，在光传输的可行性评估中，数据能以超过 100 Gbps 的速度传输数百公里。但光时分复用技术需要使用非常复杂的光信号处理接收机，因费用昂贵而难以实现。最近，已提出研制一个电时分复用传输系统，用非归零（Non-return to Zero, NRZ）启闭键控（On-off

keying, OOK）的调制方式^[6]，同时还使用光电结合的时分复用技术，使得数据传输速率提升到 107 Gb/s，以适用于 100G 比特以太网。应用电时分复用系统实现 100 Gbps 的传输的技术瓶颈，是光电调制器的带宽受限。为了能使调制器达到如此高的数据速率，需要高带宽调制器和接收器的进一步改进。

2) 波分复用（Wavelength Division Multiplexing, WDM）指在单一光纤中同时让 2 个或 2 个以上的光波长信号通过不同光信道各自传输信息，使数据传输速率倍增。此复用方式原理是在发送端用合波器将不同规定波长的光载波进行合并，传入单模光纤，然后在接收端再由分波器将不同波长的光载波分开。由于不同波长的载波相互独立，所以双向传输问题迎刃而解。根据不同的波分复用器可以复用不同数量的波长。

为充分利用光纤资源，提升骨干网带宽，采用了波分复用技术，波分复用能够解决 100G 比特网络传输通道的问题，比如集成光子电路^[7]。这项技术增加了操作和规划上的复杂性，但没有提高光传输系统的总容量，通常专注使用串行方式在一个独立光波上传输 100 Gbps 的数据速率。

3 传输 100 Gbps 信号的调制方式

目前，业界正在讨论和研究如何在系统级支持 100 Gbps 以太网。随着数据率的日益增加，光信噪比（Optical Signal to Noise Ratio, OSNR）、色散（Chromatic Dispersion, CD）和偏振模色散（Polarization Mode Dispersion, PMD）的公差要求正在成为限制因素。色散的自适应补偿在 40 Gbps 中已经比较普遍了，将被整合到 100 Gbps 的传输系统产品中。使用前向错误纠正（Forward Error Correction, FEC）后，使光信噪比对 10 Gbps 和 40 Gbps 接收器无误差检测的需求大大降低，因此，前向错误纠正十分重要。然而，100 Gbps 光信噪比的要求比低数据速率的要求高得多。偏振模色散特性已经成为 10 Gbps 远距离传输的一个限制因素，而且将可能限制 100 Gbps 系统的实现。虽然第一代商业偏振模色散的补偿设备用于 40 Gbps 是可行的，其应用到 100 Gbps 仍需进一步评估，特别是比特率递增的偏振模色散对其产生的影响。在比较中，把重点放在了光信噪比与偏振模色散的需求和不同的调制方式对于国际电信联

盟电网频率的适应能力, 从而有可能使100G比特以太网的研究与已经展开40 Gbps的波分复用(WDM)系统相结合。

1) 非归零启闭键控(NRZ-OOK)。非归零启闭键控调制要求的光谱宽度在所有非归零调制方式中是最宽的, 也是对偏振模色散最敏感的。该技术要求同步信号必须与编码一起发送, 即使一级偏振模色散补偿装置, 相应传输大约400 km的距离, 不能超过比特插槽的30%的平均差分群时延(Differential Group Delay, DGD)。NRZ-OOK发射器和接收器可以是简单的相位调制方式, 但有赖于高带宽, 不适合在100 GHz国际电信联盟网络上运作100G比特以太网系统。发射器和接收器已经在实验室中研制^[8], 非归零启闭键控将被用于简单的低成本、短距离的传输。

2) 残留边带(Vestigial Sideband, VSB)。残留边带调制方式表现一个非归零调制和差分正交相移键控(Differential Quadrature Phase Shift Keying, DQPSK)光谱效率的混合。这种调幅调制技术是通过改变单个载波信号的频率振幅编码数据, 带宽占用较大。残留边带信号是在基本不影响时域信号的情况下, 把包含在一个调制边带的多余信息的一部分去掉来组成一个残留边带信号。与非归零调制相比, 残留边带对偏振模色散的敏感性也没有显著减少。

3) 差分正交相移键控(DQPSK)。与非归零启闭键控相比, 差分正交相移键控的应用使得必需带宽减少了^[9], 其在国际电信联盟网络中应用成为可能。然而, 这会带来更高复杂性的发射器和接收器, 其成本也会更高, 其中包括为热调整和测量实现偏振敏感度较小的接收器的需求。由于二进制符号的持续时间, 相对于非归零启闭键控, 偏振模色散公差大大减小, 误码率也较小, 可以用于高速信号远距离传输。

上述各调制方式的优缺点如表2。

表2 几种调制方式的优(+)缺(-)点

	光谱宽度 (100 GHz网络)	偏振模色 散公差	收发机 复杂性	距离
非归零 启闭键控	-	-	+	-
残留边带	+	-	+	-
差分正交相 移键控	+	+	-	+

除了前面叙述的调制方式, 相干检测也考虑用于100 Gbps传输。相干检测的复兴归结于数据载波替代本机振荡器频率和锁相的可能性^[10], 与差分正交相移键控相比, 其偏振模色散公差和光信噪比灵敏度是可

以改进的。

4 结束语

以太网是非常通用的通信协议标准, 其定义了网络传输中采用的线缆类型和信号处理方式, 具有高可靠性、高速性和高开放性等特点。预计在未来的10年, 100G比特以太网将会应用在光网络中。网络运营商可能要求在单一光纤中并行传输40 Gbps和100 Gbps信号。因此, 100G比特以太网系统必须使用与适应100 GHz国际电信联盟网络相适应的调制方式。这个要求可以在比如差分正交相移键控中实现, 而无差异相移键控技术(Non-differential Phase Shift Keying, NDPSK)技术也许将会成熟和完备。对短距离应用, 非归零调制方式会由于其相对简单的传输技术被采用。这种技术的进步在使用全部或部分时分复用的标定数据速率为100 Gbps的各种传输实验中得到了证明。在近几年内, 相关产品达到成熟是非常有可能的。

参考文献:

- [1] 贾卓生. 网络新技术与应用研讨会论文集[D]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [2] 敖志刚. 现代网络新技术概论[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [3] D'Ambrosia, Law, and Nowell, "40 Gigabit Ethernet and 100 Gigabit Ethernet Technology Overview," Ethernet Alliance White Paper[J]. [http://www.ethernetalliance.org/images/40G_100G_Tech_overview\(2\).pdf](http://www.ethernetalliance.org/images/40G_100G_Tech_overview(2).pdf), Nov. 2008.
- [4] IEEE 802.3 CSMA/CD Interim Meeting, Knoxville, TN, USA, Sept. 2006, <http://www.ieee802.org/3/hssg/public/sep06/index.html>.
- [5] J.P. Turkiewicz et al. "160 Gb/s OTDM Networking using Deployed Fiber"[J]. J. of Light wave Technol. 2005, 23, 225-235.
- [6] K. Schuh et al. "100 Gbit/s ETDM transmission system based on electronic multiplexing transmitter and demultiplexing receiver"[J]. ECOC 2006, We3.P.124.
- [7] R. Nagarajan et al. "Singlechip 40-channel InP transmitter photonic integrated circuit capable of aggregate data rate of 1.6 Tbit/s"[J]. Electron. Letters, 2006, 42, 771-773.
- [8] R.H. Derksen et al "Integrated 100 Gbit/s ETDM Receiver in a Transmission Experiment over 480 km DMF"[J]. OFC, 2006, PDP37
- [9] P.J. Winzer et al. "2000-km WDM Transmission of 10x107-Gb/s RZ-DQPSK"[J]. ECOC 2006, Th4.1.3
- [10] C.R. Doerr et al. "Tunable optical dispersion compensation of a 107-Gb/s duobinary signal over 560-ps/nm range"[J]. ECOC 2006, Th4.5.1