



800 Gbit/s 光模块技术及应用

Technologies and Applications of 800 Gbit/s Optical Module

王会涛 /WANG Huitao^{1,2}
张平化 /ZHANG Pinghua^{1,2}
苏展 /SU Zhan^{2,3}

(1. 中兴光电子有限公司, 中国 南京 210012;
2. 移动网络和移动多媒体技术国家重点实验室, 中国 深圳 518057;
3. 中兴通讯股份有限公司, 中国 深圳 518057)
(1. ZTE Photonics Technology Co., Ltd., Nanjing 210012, China;
2. State Key Laboratory of Mobile Network and Mobile Multimedia, Shenzhen 518057, China;
3. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

DOI: 10.12142/ZTETJ.202106008

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20211209.0931.002.html>

网络出版日期: 2021-12-12

收稿日期: 2021-11-10

摘要: 800 Gbit/s 光模块场景包括 SR (100 m 场景)、DR/FR/LR (500 m/2 km/10 km 场景)、ER/ZR (40 km/80 km 场景)。结合商用规律和技术成熟度两个维度, 提出了单模方案下沉、单波 200 Gbit/s 来临、相干下沉 3 个趋势判断。预测了 800 Gbit/s 主流模块接口形态, 具体包括基于直接调制激光器 (DML) / 硅光 (SiPh) 的 800 Gbit/s SR8、基于电吸收调制激光器 (EML) / SiPh 的 800 Gbit/s DR4、基于 EML 的 800 Gbit/s FR4、基于 EML 的 800 Gbit/s LR8 和基于相干的 800 Gbit/s ER/ZR。

关键词: 单模方案下沉; 单波 200 Gbit/s; 相干下沉

Abstract: Applications of 800 Gbit/s optical module contain SR (100 m scenario), DR/FR/LR (500 m/2 km/10 km scenario), and ER/ZR (40 km/80 km scenario). Based on the commercial law and technology maturity, three trends of single-mode sinking, single wavelength 200 Gbit/s coming, and coherent sinking are proposed. The interface forms of 800 Gbit/s mainstream modules are predicted, including 800 Gbit/s SR8 based on direct modulation laser (DML)/silicon photonics (SiPh), 800 Gbit/s DR4 based on electro-absorption modulation laser (EML)/SiPh, 800 Gbit/s FR4 based on EML, 800 Gbit/s LR8 based on EML, and 800 Gbit/s ER/ZR based on coherence.

Keywords: single-mode sinking; single wavelength 200 Gbit/s; coherent sinking

1 市场预测和应用场景

4K 虚拟现实 (VR)、物联网、云计算等新业务的出现, 对网络的带宽、并发率和实时性提出了更高的要求。根据 Omdia 预测^[1], 未来几年随着带宽需求的不断提升, 虽然 100、200、400 Gbit/s 光模块仍将保有最大的市场占有率, 但是 800 Gbit/s 光模块将在 2023 年实现商用, 在 2025 年实现规模部署。

如图 1 所示, 根据 800 GE 网络结构, 对于架顶交换机 (TOR) 到 Leaf 交换机的连接距离, 短的有几十米, 长的可能有几百米。在这部分连接上, 大型互联网公司普遍采用 100 Gbit/s 速率的连接技术, 并从 2021 年开始逐步换代到 200 Gbit/s 或 400 Gbit/s 的速率技术。一些领先的公司会在 2023

年开始试用 800 Gbit/s 技术。Leaf 到 Spine 交换机的连接, 或者 Spine 交换机到核心路由器的连接, 可能会解决一个园区内部或者相邻园区之间的互联问题。这种连接距离会达到 2 km, 甚至 10 km。接口速率也将从 2021 年开始由 100 Gbit/s 逐步换代到 200 Gbit/s 或 400 Gbit/s 速率。一些公司会在 2023 年开始试用 800 Gbit/s 技术。数据中心互联 (DCI) 一般是指相邻几个数据中心之间负载均衡或容灾备份的连接, 这种连接距离可能长达几十公里。对于这么远的距离, 由于光纤资源比较珍贵, 人们主要采用密集波分复用加相干通信的方式以尽可能复用光纤资源。我们把 800 Gbit/s 光模块的应用场景分为 SR (100 m 场景)、DR/FR/LR (500 m/2 km/10 km 场景), 以及 ER/ZR (40 km/80 km 场景)。

2 技术方案

2.1 方案概述

800 Gbit/s 技术方案演进包括 3 代。

第 1 代 为 8 光 8 电: 光接口 8×100 Gbit/s, 电接口 8×100 Gbit/s, 商用时间为 2021 年;

第 2 代 为 4 光 8 电: 光接口 4×200 Gbit/s, 电接口 8×100 Gbit/s, 商用时间预计为 2024 年;

第 3 代 为 4 光 4 电: 光接口 4×200 Gbit/s, 电接口 8×100 Gbit/s, 商用时间预计为 2026 年。

从长期来看 (5 年内), 光 / 电单信道 200 Gbit/s 技术将会实现普及; 从短期来看 (3 年内), 由于单信道 200 Gbit/s 的光电芯片器件和均衡技术目前尚不成熟, 产业界仍需要时间来突破相关技术瓶颈。

2.1.1 电接口及封装

从 100 Gbit/s 直调直检光模块发展来看,当电接口单通道速率与光接口单通道速率相同时,光模块的架构将达到最佳状态,并具有低功耗、低成本等优势。单通道 100 Gbit/s 电接口将是 8×100 Gbit/s 光模块的理想电接口,单通道 200 Gbit/s 电接口将会是 4×200 Gbit/s 光模块的理想电接口。在封装方面,800 Gbit/s 光模块可能存在双密度四通道小型可插拔(QSFP-DD800)、八通道小型可插拔(OSFP)等不同形式。由于存在模块内走线和连接器损耗等因素,基于 200 Gbit/s 电接口的可插拔光模块仍面临诸多挑战。

2.1.2 光接口

800 Gbit/s 光模块光接口架构主要有 3 种,如图 2 所示^[3]。

(1) 8×100 Gbit/s 4 电平脉冲幅度调制(PAM4)光模块: PAM4 收发器以 53 Gbd 运行,使用 8 对数模转换器(DAC)和模数转换器(ADC)、8 个激光器、8 对光收发器,以及 1 对 8 通道粗波分复用器(CWDM)或基于以太网通道的波分复用(LAN-WDM)复用器和解复用器(SR/DR 应用场景不需要)。

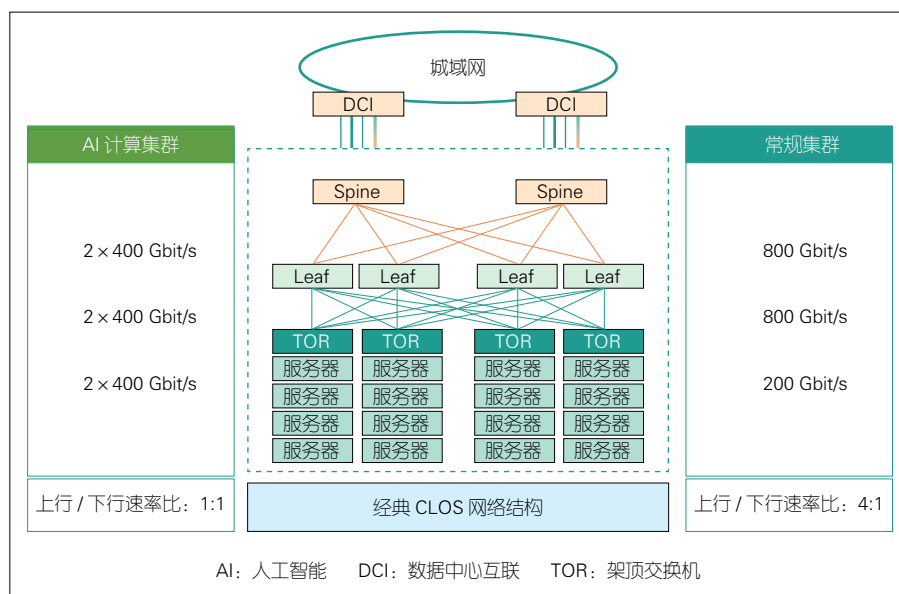
(2) 4×200 Gbit/s PAM4 光模块:

PAM4 收发器以 106 Gbd 运行,使用 4 对 DAC 和 ADC、4 对光收发器(包括 4 个激光器),以及 1 对 4 通道 CWDM 或 LAN-WDM(取决于光纤色散损失)复用器和解复用器(SR/DR 应用场景不需要)。

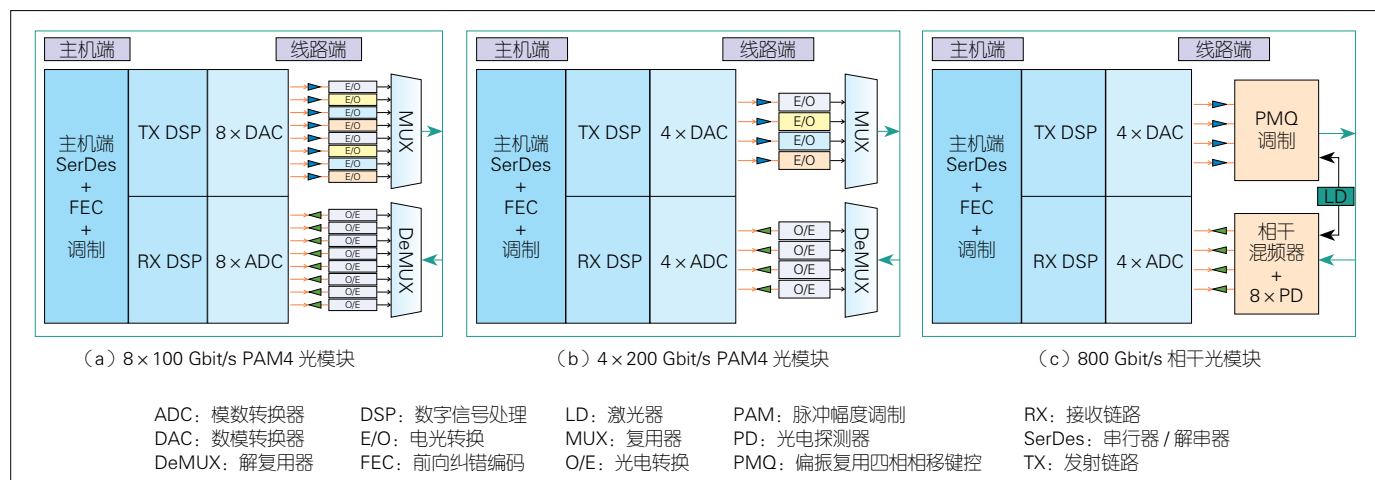
(3) 800 Gbit/s 相干光模块: 在双极化十六正交振幅调制(16QAM)下以 128 Gbd 运行。它使用 4 对 DAC 和 ADC、1 个激光器和 1 对光收发器,可以在数据中心相干光模块中使用固定波长激光器,以降低成本和功耗。

8×100 Gbit/s 直调直检方案可利

用已有技术架构,相关技术和标准比较成熟,供应链也较为完善。在 SR 场景下,垂直腔面发射激光器(VCSEL) 100 Gbit/s 技术面临挑战。提升多模方案性能和降低多模光纤成本,将成为该技术持续演进的关键因素。以硅光(SiPh)和直接调制激光器(DML)为代表的单模技术迅速发展。其中, SiPh 技术发展更为迅速,未来有望在 100 m 及以下传输距离的应用场景中与多模方案展开竞争。在 DR/FR 场景下,存在电吸收调制激光器(EML)、DML 和 SiPh 3 种方案。在 LR 场景下,



▲图 1 800 GE 网络架构图^[2]



▲图 2 3 种 800 Gbit/s 光模块光接口架构

有基于粗波分复用 (CWDM)、细波分复用 (LWDM) 和窄带细波分复用 (nLWDM) 的 800 Gbit/s LR8 方案, 这些方案目前仍处于研究阶段。在波长选择上, 由于 O 波段边缘波长的色散较大, LWDM8 在色散代价方面优于 CWDM8。目前, 10 km 及以上距离的直调直检方案主要面临“最坏情况”色散和狭窄的色散容限匹配挑战。构建新的波长体系并压缩多通道波长范围, 可使最坏情况色散相应变窄, 从而简化数字信号处理 (DSP) 设计, 降低理论功耗。例如, 8 × 100 Gbit/s PAM4 直调直检方案采用 800 GHz 间隔的 LWDM 方案时色散受限距离约为 10 km, 采用 400 GHz 间隔的 nLWDM 方案时色散受限距离可拓展至 20 km, 采用 200 GHz 间隔的 nLWDM 时色散受限距离可进一步拓展至 40 km。同时, 压缩零色散点分布或飘移范围, 缩小对应的色散范围, 也是解决方案之一。然而, 由于不同厂家光纤产品零色散点的分布并不统一, 大范围压缩仍存在难度。

对于 4 × 200 Gbit/s 直调直检方案, 单通道 200 Gbit/s 沿用 PAM4 调制码型, 可利用相对成熟的 PAM4 产业基础条件 (但也不排除新调制码型的可能性)。在 4 × 200 Gbit/s DR 和 FR 应用场景中, 目前有 4 路单模并行 (PSM4) 和 CWDM4 两种技术方案。这两种方案目前仍面临较多挑战, 需要进一步展开研究。对于 LR 应用场景, 有基于 CWDM、LWDM, 以及 nLWDM 的 800 Gbit/s LR4 方案。这些方案目前仍处于研究讨论阶段, 需要高带宽光电芯片器件、更强的均衡技术和前向纠错 (FEC), 以确保纠后的误码率 (BER)。

800 Gbit/s 相干光模块的器件带宽需要极大提升, 同时器件设计难以一步到位地实现带宽翻倍。基于 96 GBd 器件实现的 800 Gbit/s 相干光模块须采

用更高阶的调制码型。这种方法存在光信噪比 (OSNR) 低、传输距离和应用场景受限等缺点。基于 128 GBd 的双偏振 (DP) -16QAM 相干光模块, 拥有更好的 OSNR 和传输能力, 将成为 800 Gbit/s 相干的主流实现方案。

2.1.3 FEC

FEC 总体分为 3 类^[4]: 端到端 FEC、嵌套级联 FEC 和分段式 FEC。

业界普遍认为, 8 × 100 Gbit/s 直调直检方案在 40 km 以内传输距离的应用, 可由端到端 KP4 FEC 来实现。而 40 km 传输距离则有可能采用更强的 FEC。

4 × 200 Gbit/s 直调直检方案因速率更高, 须引入新的 BER 标准、新的 FEC 编码方式和更复杂的均衡器。IEEE 802.3 B400G SG (电气与电子工程师协会 802.3 后 400 Gbit/s 研究组)、800G Pluggable MSA (800 Gbit/s 可插拔多源协议) 工作组已开展相关讨论。级联方式可能成为 4 × 200 Gbit/s 直调直检方案的新路径。这种方式既保留了 KP4 FEC, 避免了主芯片集成新 FEC 所带来的额外成本, 又可通过光模块中轻量化、易实现的 FEC 为光链路提供额外保护, 降低解码带来的功耗和时延。在纠错性能上, KP4+BCH (144,136) 等多种级联内码均可在纠前误码率 $1 \sim 2E-3$ 的区间基础上, 使纠后范围小于 $1E-13$ 。同时, 目前对 800 Gbit/s 最强烈的诉求来自 OTT (指互联网运营商) 数据中心与高性能计算等场景应用。这些场景对时延敏感度要求较高。低时延 FEC 算法成为 800 Gbit/s 的核心诉求之一。

800 Gbit/s 相干包括 800 Gbit/s LR、800 Gbit/s ZR 两种。因此, 我们需针对不同应用场景进行 FEC 算法的设计。(1) 800LR 场景需要 10 km 园区网络, 对时延和功耗要求较高。目

前, 解决方案有 KP4+eHamming/eBCH 级联、空间耦合码 FEC(XR-FEC)、集群型 FEC (CFEC)、Zipper、轻量化开放 FEC (OFEC) 等。其中, 级联方案与 4 × 200 Gbit/s 直调直检级联方案有共通之处。两种路径的相通可进一步降低主芯片复杂度。(2) 800ZR 场景主要应用于 DCI, 是光互联论坛 (OIF) 400ZR 标准的延续。800ZR 采用 DP-16QAM 调制格式, 使 CFEC 纠错能力受到一定挑战, 可能需要多级编码 (MLC)、OFEC 等纠错能力更强的 FEC 方案。

2.1.4 均衡技术^[5]

为实现单通道 200 Gbit/s 的数据传输速率, 光电芯片都要进行性能升级, 例如需要 200 Gbit/s 的 SerDes、带宽高于 50 GHz 的光电芯片和器件等。从目前技术研究报道来看, 带宽高于 50 GHz 的光芯片相对容易实现。如何在带宽提升的前提下保证其他指标性能的最优是需要考虑的重点。目前, Driver 和 TIA 电芯片带宽还不能满足速率需求, 还需要具备均衡能力。在提升自身带宽的同时, 这些电芯片需要实现系统级信号优化的效果。高效的均衡技术可以更大限度地放宽系统对光电器件带宽的要求。

常见的均衡技术包括前馈均衡 (FFE)、判决反馈均衡 (DFE) 和最大似然序列均衡 (MLSE) 等。其中, 由于实现方式简单, FFE 被广泛应用于 SerDes 系统和光信号 DSP (oDSP) 芯片中。为了缓解单通道 200 Gbit/s 对光电器件带宽的需求, 一方面可以在发端采用 FFE 预均衡技术以补偿发射端器件带宽, 另一方面通过在 oDSP 施加更加强效的均衡技术来缓解带宽限制对系统性能的劣化影响。对于单波 100 Gbit/s 标准中采用的 5 抽头 FFE 均衡, 当速率提高到 200 Gbit/s 时, FFE

抽头数将增加。虽然更高性能的 MLSE 均衡算法也可作为解决方案,但 MLSE 实现方式更为复杂,所需运算量也很大,这将增加 oDSP 的功耗。

2.1.5 标准化进展

全球多个标准化组织竞相开展 800 Gbit/s 的标准化工作。IEEE 802.3、800G Pluggable MSA、100G Lambda MSA 和国际光电委员会 (IPEC) 等均已启动 800 Gbit/s 相关规范的制订工作,对 800 Gbit/s 光模块的应用场景、接口规格等进行了定义。800G Pluggable MSA 已先后发布面向低成本、100 m 传输距离需求的 8×100 Gbit/s PSM8 以及面向 2 km 传输距离需求的 4×200 Gbit/s FR4 规范。QSFP-DD800 MSA 对 QSFP-DD 封装向 800 Gbit/s 的演进进行定义,并将其合并至 QSFP-DD MSA 新发布的 QSFP-DD SPEC 6.0 文件中。

2.2 800 Gbit/s SR 场景技术方案

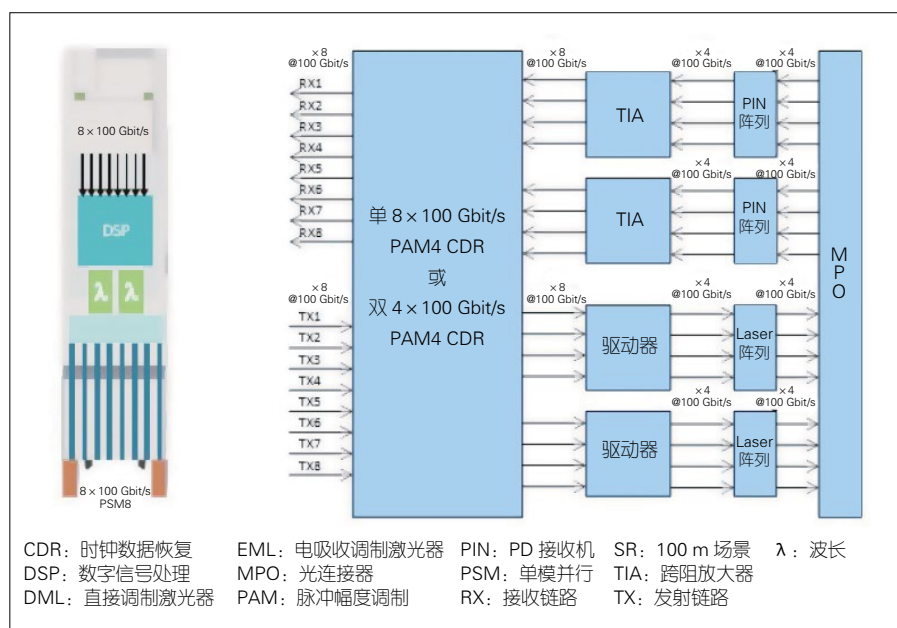
针对 800 Gbit/s 短距需求,受传统多模光纤带宽限制,高波特率信号的多模传输距离被进一步压缩到 50 m 以内,即使使用新型 OM4/OM5 多模光纤也很难实现 100 m 传输距离。根据 800G Pluggable MSA 工作组的定义,800 Gbit/s 在 100 m 传输上不再采用基于 VCSEL 的多模方案,而是采用并行单模光纤 (SMF) 传输 PSM8。一般可采用调制格式为 PAM4 (内置 DSP 芯片) 的方式来满足 800G SR 的场景需求。目前,800 Gbit/s SR 场景技术方案具体包括基于 DML/EML 的方案和基于 SiPh 的方案,如图 3 和图 4 所示。

800 Gbit/s SR8 DML/EML 方案: 采用 8×100 Gbit/s DSP (未来或采用模拟时钟数据恢复单元)、同一波长 DML/EML 光芯片,收发两端各使用 8 根光纤 (PSM8 并行单模 8 通道),并且采用 24 芯或 16 芯 MPO 接头。

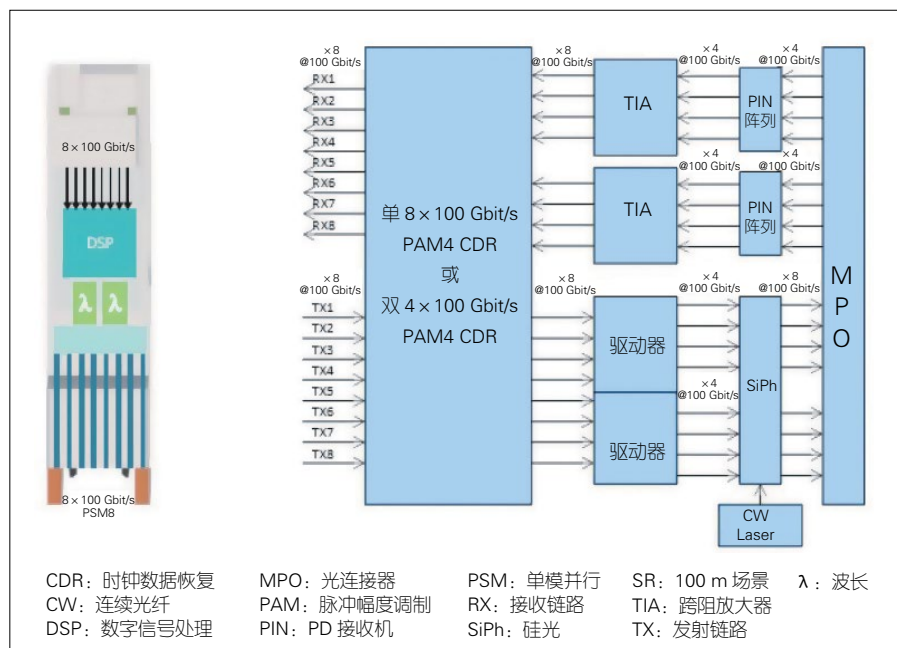
800 Gbit/s SR8 SiPh 方案: 采用 $8 \times$ SiPh 马赫·曾德尔调制器 (MZ) / 连续光纤 (CW) 激光器 (硅光作为发射端,同时调制器和光源分离),可以实现并行多路的共享光源架构。若插损控制得当,使用 1 ~ 2 个光源实现 8 路并行可使系统具有很好的成本优势。

2.3 800 Gbit/s DR/FR 场景技术方案

针对 800 Gbit/s 500 m 的互联需求, 8×100 Gbit/s 方案中的 SiPh 方案相比于 400 Gbit/s 的 DR4 (SiPh), 在降低成本方面比较有限。 4×200 Gbit/s 方案具有更低的成本优势,同时 100 Gbd 器件的良率还有待考察。8 通道并行方案可能仍会被作为前期 MSA 方案。



▲图 3 8×100 Gbit/s SR8 DML/EML



▲图 4 8×100 Gbit/s PSM8 SiPh

如图5所示, 800 Gbit/s DR4(EML/SiPh)方案采用 4×200 Gbit/s DSP。光芯片采用 $4 \times$ EML/SiPh, 为同一波长。因带宽发展受限, 方案不采用DML。收发端各用4根光纤(PSM4并行单模4通道), 均为同一波长, 并采用12芯MPO接头。

在800 Gbit/s 2 km(FR) 互联需求方面, 基于单通道200 Gbit/s的PAM4技术是光强度调制和直接检测互连的下一代技术的代表, 将成为4通道800 Gbit/s光连接的基础。当速率从100 Gbit/s升到200 Gbit/s时, 波特率会翻倍, 灵敏度会恶化约3 dB, 因此, 需要更强大的FEC来保持接收器较高的灵敏度(-5 dBm)。

800 Gbit/s FR4 EML方案采用 4×200 Gbit/s DSP、CWDM4 EML光芯片。收发两端采用合分波器, 各用1根光纤(CWDM4), 同时采用双朗讯(LC)接头, 如图6所示。

2.4 800 Gbit/s LR/ER/ZR 场景技术方案

在800 Gbit/s 10 km 互联需求方面, 考虑到色散容限, 目前业界提出4种解决方案: 800 Gbit/s LWDM8/nLWDM8、800 Gbit/s LWDM4/nLWDM4、800 Gbit/s 自零差检测(SHD)相干、800 Gbit/s 相干。

如图7所示, 800 Gbit/s LR8方案采用 8×100 Gbit/s DSP、LWDM8 EML光芯片。收发两端采用合分波器, 各用1根光纤(LWDM8), 并采用双LC接头。

800 Gbit/s LR4方案主要采用 4×200 Gbit/s DSP、 $4 \times$ EML LWDM4波长。接收侧使用200 Gbit/s PAM4波导雪崩式光电二极管(APD)。如图8所示收发两端采用合分波器, 各用1根光纤(LWDM4), 同时采用双LC接头。

在波长的选择方面, 目前有LWDM4(800 GHz波长间隔)和nLWDM4(400 GHz波长间隔)两种方案。nLWDM4方案具备色散代价更小、DSP功耗和复杂度更低的优势, 但需要开发新的EML芯片。

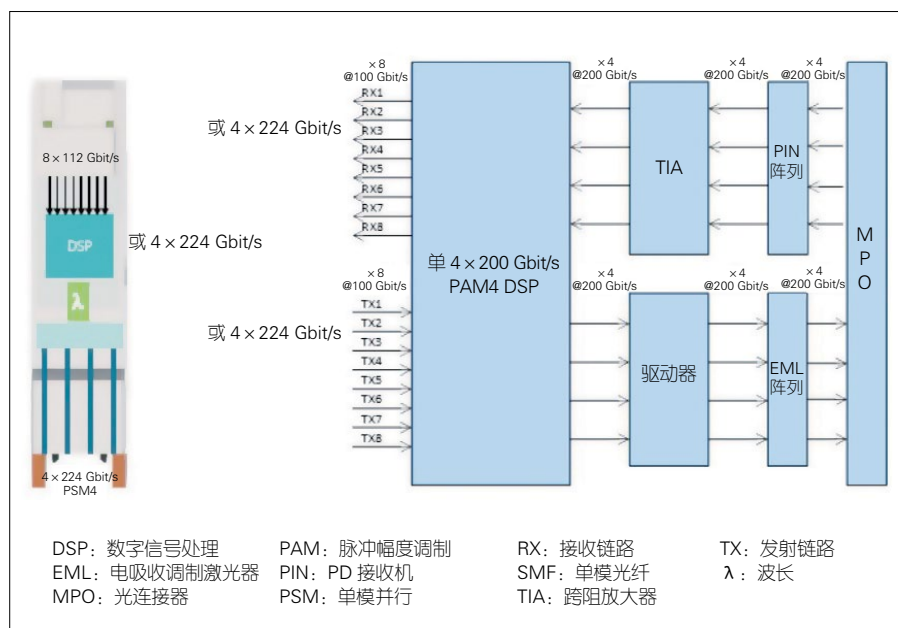
针对800 Gbit/s 40 km/80 km场景的互联需求, 业界采用的解决方案为800 Gbit/s 相干。该方案采用专用相干

DSP、128 Gbd IC-TROSA, 并采用双LC接头。

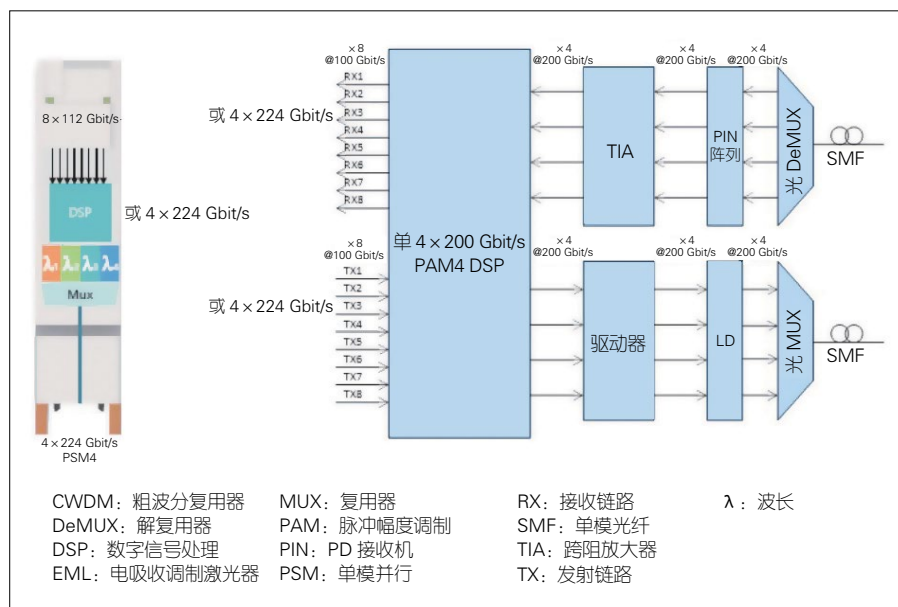
3 800 Gbit/s 的发展趋势及商用策略

800 Gbit/s的发展趋势包括3个方面: 单模下沉、单波200 Gbit/s来临、相干下沉。

(1) 单模下沉。受限于多模光纤



▲图5 4×200 Gbit/s PSM4 EML/SiPh



▲图6 4×200 Gbit/s CWDM4 EML

的带宽, 100 Gbit/s PAM4 VCSEL+ 多模光纤的传输距离为 50 m。如果采用 OM5 光纤, 那么系统成本就会增加。在未来, 单模光接口方案下沉是必然趋势, 而这将利好 SiPh 技术。

(2) 单波 200 Gbit/s 来临。虽然 112 Gbd EML 技术发展较快, 目前已经有样机诞生, 但是 55 GHz 的带宽资源略显不足。200 Gbit/s PAM4 速率等

级的 SiPh 调制器和硅基薄膜铌酸锂的应用前景非常广阔。

(3) 相干下沉。随着传输速率的提升, 相干技术方案在 80 km 传输距离的基础上将进一步向 40、20、10 km 等更短距离拓展应用。同时, 非相干方案也在努力向长距离应用拓展。因此, 两种方案在应用时会出现“相遇”的情况。两种方案的相遇将与技术方

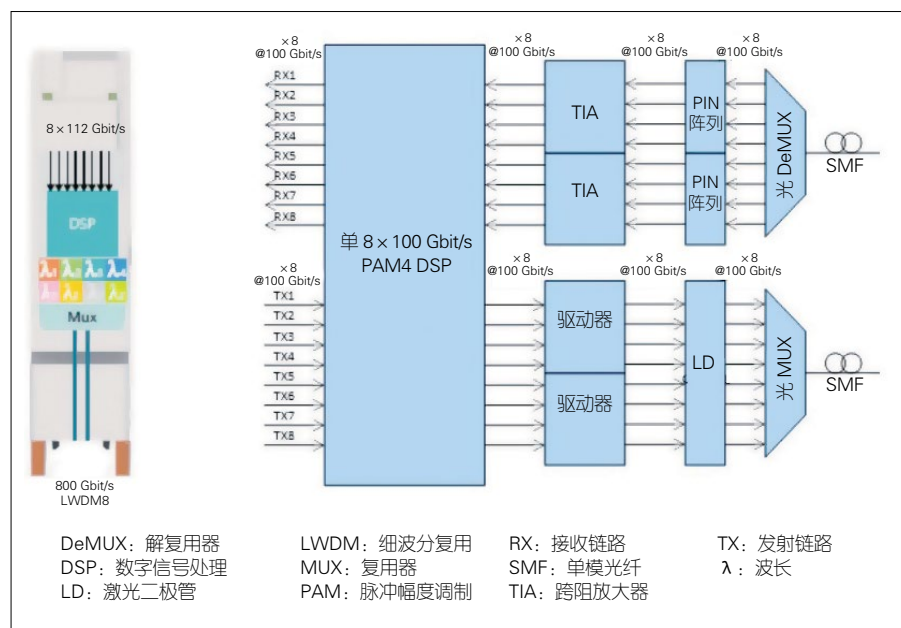
案单位比特率成本等因素密切相关。相干方案只需要一个激光器、调制器和接收器的这一事实, 将使自身具备与 PAM4 相媲美的成本竞争力 (即使光器件变得更加复杂)。PAM4 会用到 4 个简单的激光器、调制器和接收器。即使这些器件的在 800 Gbit/s 时比较复杂, 它们也足以快速降低整个系统成本, 使 PAM4 保持较强的竞争力。总体而言, 相干和 PAM4 传输的竞争已经开始, 未来结果如何, 还需要时间来证明。

800 Gbit/s 光模块电接口前期为 8×100 Gbit/s, 光接口有 8×100 Gbit/s PAM4、 4×200 Gbit/s PAM4、128 Gbd DP-16QAM 相干 3 种。800 Gbit/s 光模块应用场景方案预测如表 1 所示。

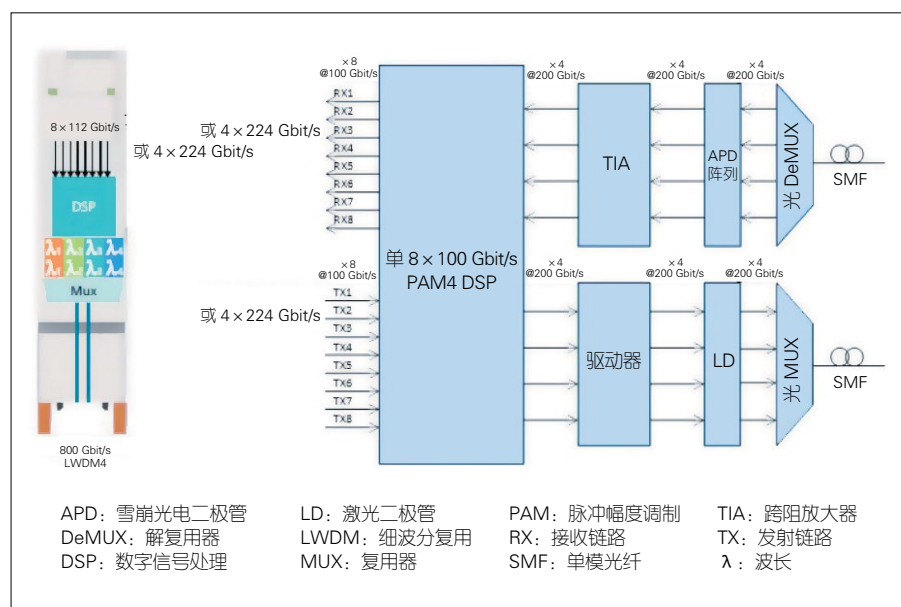
单模方案下沉有助于 800 Gbit/s SiPh 方案的光模块覆盖到海量 100 m SR 场景。800 Gbit/s-SR8/DR8 采用同平台方案并按指标筛选发货, 有助于降低系统平均成本。此外, SiPh 光模块有可能实现非相干领域弯道超车。100 Gbit/s 光模块产业链百花齐放, 呈现多元化现象。但是 200 Gbit/s 产业链多元化会降低 (仅有 EML 方案和 MZ 方案)。单波 200 Gbit/s 光接口 (800 Gbit/s-FR4) 将在 800 Gbit/s 和 1.6 Tbit/s 中使用。200 Gbit/s PAM4 EML 的供方有限, 并且带宽略显不足。200 Gbit/s PAM4 SiPh 的硅光调制器和 200 Gbit/s PAM4 薄膜铌酸锂在性能、成本和产业链多样化方面具有很好的竞争优势。

4 结束语

当交换芯片速率达到 51.2 Tbit/s 时, 800 Gbit/s 光模块需求将产生; 当交换芯片的速率达到 102.4 Tbit/s 时, 800 Gbit/s 和 1.6 Tbit/s 光模块需求均将出现。根据交换芯片的演进趋势、市场需求和技术成熟度, 800 Gbit/s 光模块



▲图 7 8×100 Gbit/s LWDM8 EML



▲图 8 4×200 Gbit/s LWDM4 EML

▼表 1 800 Gbit/s 光模块应用场景方案预测

800 Gbit/s 应用场景		商业方案预测
SR	基于 SMF 单模的 800 Gbit/s SR8 解决方案是可行的, 具有一定竞争力	
DR	800 Gbit/s DR8 在前期会成为商用选择, 后期会切换为 800 Gbit/s DR4	
FR	第 1 代会是 2×400 Gbit/s FR4, 800 Gbit/s CWDMM4 将成为主流模块。	
LR	第 1 代会是 2×400 Gbit/s LR4, 800 Gbit/s LR8、800 Gbit/s LR4、800 Gbit/s 相干将会出现竞争。其中, 800 Gbit/s LR8 将成为主流选择	
ER/ZR	800 Gbit/s 相干方案作为唯一技术方案。	
CWDM: 粗波分复用	FR: 2 km 场景	SR: 100 m 场景
DR: 500 m 场景	LR: 10 km 场景	ZR: 80 km 场景
ER: 40 km 场景	SMF: 单模光纤	

将于 2022 年进入市场, 在 2025 年左右实现规模应用。在早期 8×100 Gbit/s 将成为主流方案, 这将有助于 400 Gbit/s 向 800 Gbit/s 平滑演进。

当单通道电接口速率与光接口速率相同时, 光模块的架构将达到最佳, 并具有低功耗、低成本等优势。 4×200 Gbit/s 将是 800 Gbit/s 光模块的理想架构, 未来将成为 1.6 Tbit/s 的实现基础。因内部封装形态受到高频信号完整性的影响, 200 Gbit/s 每波长光模块有光电集成化的可能, 而这对成本的影响还有待分析。由于波特率的提高, 200 Gbit/s PAM4 DML 带宽受限, 200 Gbit/s PAM4 10 km 以上长距传输的灵敏度将受到影响, 而高带宽波导 APD 对中长距 800 Gbit/s 的成本影响尚不明确。超短距离采用 8×100 Gbit/s

方案, 短距离采用 4×200 Gbit/s 方案, 中长距离仍采用 8×100 Gbit/s 方案。受 PAM4 色散、多路径串扰 (MPI) 等影响, 长距离采用 800 Gbit/s 相干方案。

致谢

本研究得到中兴光电子技术有限公司沈百林、熊孝海等专家的帮助, 谨致谢意!

参考文献

- [1] Omdia. Datacom optical components forecast, 2020–26 [EB/OL]. [2021–10–15]. <https://omdia.tech.informa.com/OM017740/Datacom-Optical-Components-Forecast-202026>
- [2] 800G Pluggable MSA. 200G per lane for future 800G & 1.6T modules [EB/OL]. [2021–11–15]. <https://www.800gmsa.com/documents/200g-per-lane-for-future-800g-and-16t-modules>
- [3] WAYW. 800G: coherent versus PAM4 optical transceivers inside data centers [EB/OL]. [2019–09–09][2021–11–15]. [https://www.neophoton-](https://www.neophoton-ics.com/800g-coherent-versus-pam4-optical-transceivers-data-centers)

ics.com/800g-coherent-versus-pam4-optical-transceivers-data-centers

[4] 中国通信标准化协会. 800 Gbit/s 光收发合一模块研究: 2020B46 [S]. 2020

[5] IMT-2020 (5G) 推进组. 5G 承载与数据中心光模块 [R]. 2021

作者简介



王会涛, 中兴光电子技术有限公司规划总工; 长期从事光通信系统、光电子器件产品和技术的研究及规划工作; 曾获得中国通信学会科技进步奖一等奖、教育部技术发明奖二等奖; 拥有专利 10 余项。



张平化, 中兴光电子技术有限公司光模块规划工程师; 从事光模块规划工作。



苏展, 中兴通讯股份有限公司光模块系统工程师; 从事光模块的预研、研发和标准跟踪等工作。