1.6T以太网指南

EXFO

1 亮点：IEEE 802.3dj标准

- 满足超大规模数据中心和AI基础设施的需求。
- **200G** 定义了向每通道200G技术的演进路径，实现1.6TbE系统，并支持每通道200G的200G、400G和800G技术。
- **1.6T** 定义了每通道200 Gbit/s物理层和MAC，用于1.6 Tb/s聚合接口。
- 在电接口与光接口上采用PAM4信号传输技术，实现每通道200 Gbit/s速率。
- **FFE DFE** 增强型发送端与接收端均衡技术，可改善复杂高速通道上的信号完整性。
- **APSU** 定义了由LT与RTS功能支持的自主路径启动（APSU）流程。
- **RS-FEC** 引入了RS-FEC符号复用技术，用于对符号对（symbol pairs）或符号四元组（symbol quartets）进行复用。
- 定义了额外的前向纠错（FEC）层，称为内层FEC（Inner FEC），用于选定的长距离应用。

Timeline: Ethernet standard

2010	2017	2024	2026
1000/40G	400G/200G	800G	1.6T expected release

2 1.6TE逐层图示

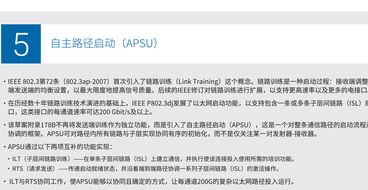
图例	
MAC	介质访问控制
RS	对协调子层
MII	介质独立接口
PCS	物理编码子层
PMA	物理介质连接
PMD	物理介质相关
FEC	前向纠错

3 内层FEC

对于2 km和10 km接口，1.6T标准规定除了要在PCS层内实现RS-FEC之外，还必须再部署一层前向纠错（FEC）层，称为内层FEC（inner FEC）。

主要特点包括：

- RS-FEC：属于强制层FEC机制，不在任何中间子层终止。
- 内层FEC：在物理介质相关（PMD）层中实现，也就是说它直接部署在光模块内。
- 内层FEC规范在标准第177条和第183条中进行了定义。
- 双FEC架构提升了高速通道光接口的链路稳健性，同时通过PCS RS-FEC保留端到端纠错能力。



4 PMA：符号复用

什么是符号复用？

符号是一组表示编码值的比特。在IEEE 802.3以太网PHY中，数据在经过编码和FEC处理后被组织成符号而不是单个比特。

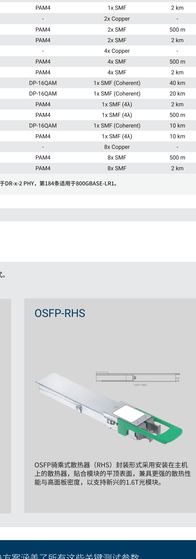
- 比特复用：将来自多个通道的数据进行混比特交织。
- 符号复用：一次交织一个完整符号的数据。将符号的所有比特保持在一起。

例如：

随着以太网向1.6 Tb/s演进并采用200 Gbit/s电通道，在目标速率下实现比特复用的难度持续增大。以所需的速度实现比特复用变得越来越困难。

符号复用的优势包括：

- 实现复杂度更低：交换完整的符号，而不是独立的高速比特，从而简化了硬件。
- 对序对齐更优：保留了符号边界，从而减少了通道之间的时延差和同步挑战。
- 与FEC兼容性更好：由于前向纠错基于符号进行处理，因此保持符号完整可简化编码与解码操作。
- 速率可扩展性更高：符号复用更适用于每通道200 Gbit/s工作模式以及未来的以太网速率。



5 自主路径启动（APSU）

- IEEE 802.3第72条（802.3ap-2007）首次引入了链路训练（Link Training）这个概念。链路训练是一种启动过程：接收端调整远端发送端的均衡设置，以最大限度地提高信号质量，后续的IEEE标订对链路训练进行扩展，以支持更高速率以及更多的电接口。
- 在历经数十年链路训练技术演进的基础上，IEEE P802.3dj发展了以太网启动功能，以支持包含一条或多条子层间链路（ISL）的接口，这类接口的每通道速率可达200 Gbit/s及以上。
- 该草案附录178B不再将发送端训练作为独立功能，而是引入了自主路径启动（APSU），这是一个对整条通信路径的启动流程进行协调的框架。APSU可对路径内所有链路与子层实现协同有序的初始化，而不是仅关注某一对发射器-接收器。
- APSU通过以下两项互补的功能实现：
  - 8LT（子层间链路训练）——在单条子层间链路（ISL）上建立通信，并执行使该连接投入使用所需的培训功能。
  - RTS（请求发送）——传递启动就绪状态，并沿着端到端路径协调一系列子层间链路（ISL）的激活操作。
- 8LT与RTS协同工作，使APSU能够以协同且确定的方式，让每通道200G的复杂以太网路径投入运行。

*沿着端到端路径有每个子层间链路（ISL）上进行的RTS和/或8LT操作。

6 物理层规格

数据速率	PHY类型	内层FEC	光调制	介质通道	距离
200 Gbit/s	200GBASE-CR1	-	-	1x Copper	-
	200GBASE-DR1	-	PAM4	1x SMF	500 m
	200GBASE-DR1-2	√	PAM4	1x SMF	2 km
400 Gbit/s	400GBASE-CR2	-	-	2x Copper	-
	400GBASE-DR2	-	PAM4	2x SMF	500 m
	400GBASE-DR2-2	√	PAM4	2x SMF	2 km
800 Gbit/s	800GBASE-CR4	-	-	4x Copper	-
	800GBASE-DR4	-	PAM4	4x SMF	500 m
	800GBASE-DR4-2	√	PAM4	4x SMF	2 km
	800GBASE-ER1	-	DP-16QAM	1x SMF (Coherent)	40 km
	800GBASE-ER1-20	-	DP-16QAM	1x SMF (Coherent)	20 km
	800GBASE-FR4	√	PAM4	1x SMF (4λ)	2 km
	800GBASE-FR4-500	-	PAM4	1x SMF (4λ)	500 m
	800GBASE-LR1	√	DP-16QAM	1x SMF (Coherent)	10 km
	800GBASE-LR4	-	PAM4	1x SMF (4λ)	10 km
1.6 Tbit/s	1.6TBASE-CR8	-	-	8x Copper	-
	1.6TBASE-DR8	-	PAM4	8x SMF	500 m
	1.6TBASE-DR8-2	√	PAM4	8x SMF	2 km

注：IEEE 802.3dj定义了两种内部前向纠错（FEC）架构：第177条适用于OIF-x-2 PHY，第184条适用于400GBASE-LR1。

7 接口

1.6T的主要接口采用八通道小尺寸可插拔（OSFP）封装形式。

目前主要有两种形式：

OSFP-IHS

集成散热器

OSFP集成散热器（IHS）封装形式将散热器直接集成在光模块内。这种一体化结构可在1.6T速率下实现高效的风冷散热。提供封闭鳍片顶盖与开放式鳍片顶盖两种配置方案。

OSFP-RHS

OSFP骑乘式散热器（RHS）封装形式采用安装在主机上的散热器，贴合模块的平顶表面，兼具更强的散热性能与高面板密度，以支持新兴的1.6T光模块。

EXFO易用且灵活的测试解决方案涵盖了所有这些关键测试参数。

欢迎访问www.EXFO.com联系我们的技术专家。