

OTN (G.709) 参考指南

洞察光传输网

第4版

EXFO

关于EXFO

EXFO是全球电信行业的领先提供商之一，为无线和有线网络运营商和设备制造商提供下一代测试和服务保证解决方案。公司为融合网络、IP固网和移动网络从核心网到边缘网的开发、安装、管理和维护提供创新的解决方案。支持的关键技术涵盖3G、4G/LTE、IMS、以太网、OTN、FTTx和各种光通信技术，大约占有便携式光纤测试市场的35%。EXFO在25个国家共有约1600名员工，服务全世界2000多个电信业客户。

关于作者

Mai Abou-Shaban是传输和数据通信业务部门产品专员，为EXFO带来了与美洲、欧洲、中东、非洲以及亚洲地区主要电信客户在光传输网领域的丰富合作经验。她曾获得蒙特利尔康考迪亚大学电机工程学士学位。Mai有11年的上市和私人持股公司工作经验，工作领域包括系统工程、产品营销以及销售支持。

目录

1. 前言	2	6. 超频光传输网	36
2. 光传输网 (OTN) 层	4	6.1 OTU2e—10GBASE-R信号映射到OPU2e	38
3. G.709接口和速率	8	6.2 OTU1e—10GBASE-R信号映射到OPU1e	39
4. OTU帧结构和开销	10	6.3 以GFP-F方式将10GBASE-R信号映射到OPU2	39
4.1 成帧	11	6.4 ODU2信号映射到ODU3e	39
4.2 开销	13	7. 光传输网元测试	40
4.2.1 光通道传输单元 (OTU) 开销	13	7.1 接口规范测试	41
4.2.2 光通道数据单元 (ODU) 开销	16	7.2 响应测试	42
4.2.3 光通道净荷单元 (OPU) 开销	23	7.3 合规性和互操作性测试	43
4.3 OTU前向纠错 (FEC)	28	7.4 客户端信号映射测试	43
5. OTN复用	30	7.5 适当FEC行为测试	44
5.1 ODUk复用	31	7.6 ODU1复用到ODU2	45
5.2 ODU0	32	7.7 ODU0复用到OTU2	45
5.3 ODUFlex	35	7.8 OTN即服务	46
		7.8.1 目前的OTN结构	48
		8. 结束语	50
		9. 缩写词	52

1

前言



1. 前言

在目前的电信/数据通信环境中，网络运营商被迫整合自己的网络，以降低运营支出（OPEX）并消除由多个并行网络造成的额外资本支出（CAPEX）。因此，每个运营商都尝试在尽可能精益的基础设施上提供尽可能多的服务，以更快地收回投资。例如，传统的电信运营商和服务提供商正考虑采用新技术来应对新的市场需求和挑战。这些技术变革包括实施有线（如xDSL、FTTx）和无线（IEEE 802.11）宽带接入技术、从电路交换语音服务迁移到VoIP服务以及从基于ATM和FDDI的解决方案迁移到千兆以太网解决方案。此外，他们还面临高容量、带宽固定的服务需求日益增长的压力，以及满足这些要求所带来的挑战。

针对这些变化，国际电信联盟电信标准化部门（ITU-T）开发出一整套标准来满足这些不断涌现的需求。ITU-T G.709建议书—光传输网（OTN）接口，是最新的标准之一，旨在满足现今各种服务的传输要求，换句话说，它设计用来帮助将网络升级到更高带宽并提高网络性能。ITU-T G.709的很多理念都与SONET/SDH的理念类似，包括分层结构、服务实时性能监测、保护和其它管理功能。然而，也增加了一些关键元素，以持续提高性能并降低成本。例如，ITU-T G.709介绍了在光域中管理光通道的标准方法，无需将光信号转换成电信号，并应用前向纠错（FEC）算法来改善传输性能、增加跨段距离并将速率提高到100G。

目前，大多数OTN应用都在密集波分复用（DWDM）传输网上运行。然而，已出现了不同程度地支持OTN标准的产品，且预计在不久的将来会有更多基于OTN的产品和功能投放市场。

2

光传输网 (OTN) 层



2. 光传输网 (OTN) 层

光传输体系 (OTH) 是由ITU开发出来的新传输技术规范, 用于光传输网 (OTN)。它基于各种建议书 (如关于网络架构的G.872、关于帧和格式的G.709以及关于功能和流程的G.798) 中定义的网络架构。OTH在同一个框架下结合了电复用和光复用的优势。电域的结构按照分层顺序, 和SONET/SDH一样, 而光域基于DWDM复用技术, 但采用标准化接口和方法来管理网络。ITU-T G.872建议书 - 光传输网 (OTN) 架构定义了两类OTN接口 (参见图2.1—laDI与lrDI接口对比)。

- › **OTN域间接口 (lrDI)** : 该接口在同一个运营商域内将两个运营商的网络连接起来, 或将一个或多个设备制造商的子网连接起来。按照定义, lrDI接口在每端都具备重整形、再生和重定时处理功能。
- › **OTN域内接口 (laDI)** : 该接口在运营商或设备制造商的域内将网络连接起来。

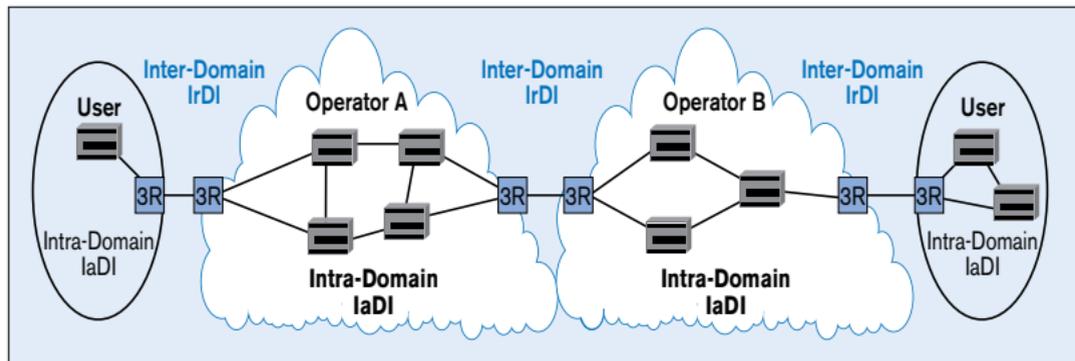


图2.1—laDI与lrDI接口对比

ITU G.872建议书还根据在特定波长上承载的光通道 (OCh)，定义了光传输网架构。和传统DWDM系统结构不同的是，该信号的结构已制定了标准。如图2.2—OTN层端接点所示，OTN架构包括三层，采用带更高开销的OCh构建。

- › **光通道 (OCh)** ——表示端到端光网络连接，采用G.709定义的帧结构封装客户端信号。
- › **光复用段 (OMS)** ——指光复用器和解复用器之间的段。
- › **光传输段 (OTS)** ——指OTN内任何网元 (包括放大器) 之间的段。

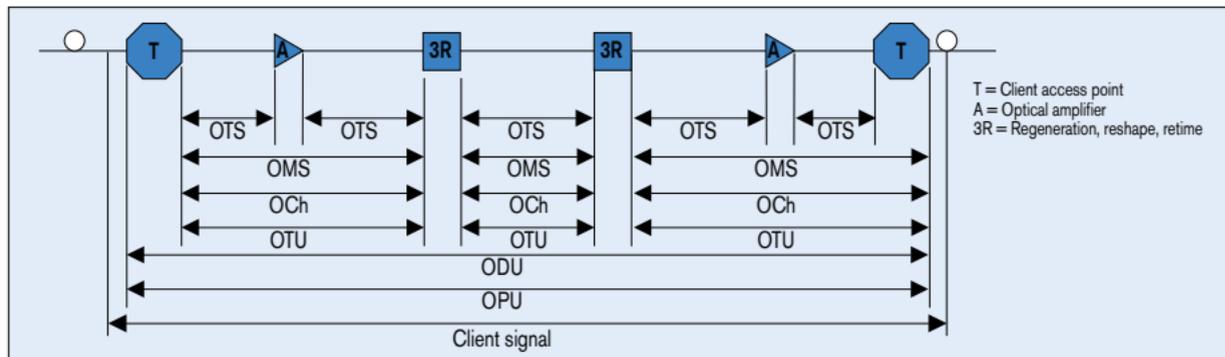


图2.2—OTN层端接点

OTS层、OMS层和OCh层的端接位于OTN的光层。OCh净荷包括电子结构，其中光通道传输单元 (OTU) 为最高水平的复用。该层为数字层，也称为“数字包封”，提供特定的开销来管理OTN的数字功能。OTU还通过向网元添加前向纠错 (FEC) 功能，将新趋势引入光网络中，使操作员可以限制网络中所需再生器的数量，从而降低网络成本。

在OTN（如图2.3—基本的OTN传输网结构）网内传输客户端信号时，首先在光通道净荷单元（OPU）层对客户信号（SONET/SDH、以太网、FC、ATM、GFP等）进行适配，将其速率调整为OPU速率。OPU开销包含支持客户端信号适配过程的信息。一旦适配完毕，OPU即被映射到光通道数据单元（ODU），同时添加必要的开销以确保端到端监控和串联连接监测。最后，ODU被映射到提供成帧、段监测和FEC的OTU。

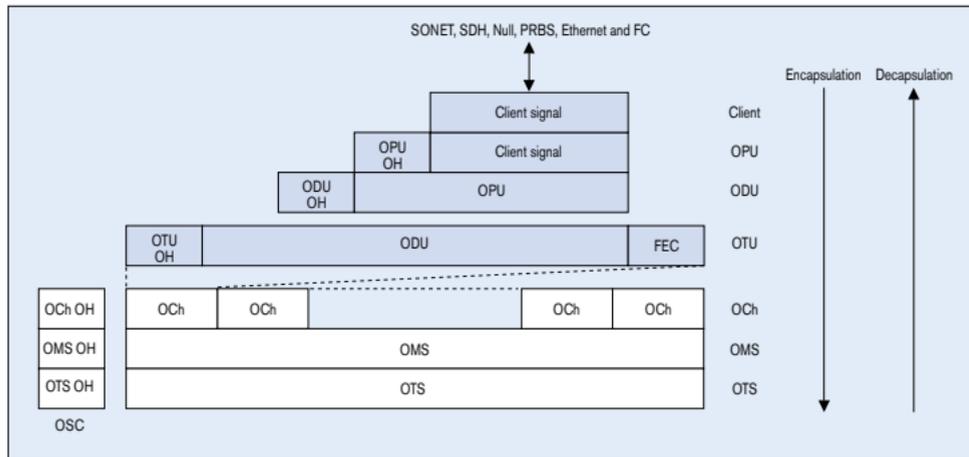


图2.3—基本的OTN传输结构

每个OTU_k (k = 1、2、3) 使用OCh传输；每个单元分配有ITU栅极的一个特定波长。可将几个通道映射到OMS层，然后通过OTS层传输。OCh层、OMS层和OTS层都有各自的开销以实现光层的管理。这些光层的开销在非ITU栅极的带外光监控通道（OSC）中传输。此外，OSC还在不同的OTN层提供维护信号和管理数据。

3

G.709接口和速率



3.G.709接口和速率

ITU-T G.709建议书根据现有的SONET/SDH速率，以及基于分组的服务，包括以太网和光纤通道，规定了标准接口和速率。考虑到额外的G.709开销和FEC信息，结果接口的运行线路速率约比相应的SONET/SDH速率高7%。表3.1—G.709规定的接口列举了G.709线路速率及其相应的SONET/SDH接口和基于分组的服务，包括以太网和光纤通道。

OTN接口	线路速率	相应服务
ODU0 (虚拟)	1.244 Gbit/s	Gig-E, OC-3/STM-1, OC-12/STM-4
OTU1	2.666 Gbit/s	OC-48/STM-16
OTU2	10.709 Gbit/s	OC-192/STM-64, 10 GigE LAN (使用GFP-F)
OTU1e	11.0491 Gbit/s (无填充比特)	10 GigE LAN (直接在OTN上映射)
OTU2e	11.0957 Gbit/s (有填充比特)	10 GigE LAN (直接在OTN上映射)
OTU1f	11.27 Gbit/s (无填充比特)	万兆光纤通道
OTU2f	11.3 Gbit/s (有填充比特)	万兆光纤通道
OTU3	43.018 Gbit/s	OC-768/STM-256, 40GE
OTU3e1	44.57 Gbit/s	4 x ODU2e (使用2.5G TS; 总共达到16)
OTU3e2	44.58 Gbit/s	4 x ODU2e (使用1G TS; 总共达到32)
OTU4	111.81 Gbit/s	100GE

表3.1—G.709规定的接口列举了G.709线路速率及其相应的映射客户端服务。

4

OTU帧结构和开销



4. OTU帧结构和开销

图4.1—OTU帧结构显示的是组成光通道传输单元（OTU）帧的三个部分：

- › 成帧（帧定位信号和多帧定位信号）
- › OTU、ODU、OPU开销
- › OTU前向纠错

4.1. 成帧

在光传输系统中传输连续的数据块时，接收设备能够识别数据块边界非常重要。在OTN中，通过使用成帧字节来识别起点，每个帧都携带成帧字节。OTU成帧结构分为两部分：帧定位信号（FAS）和多帧定位信号（MFAS），如图4.2—G.709帧定位所示。

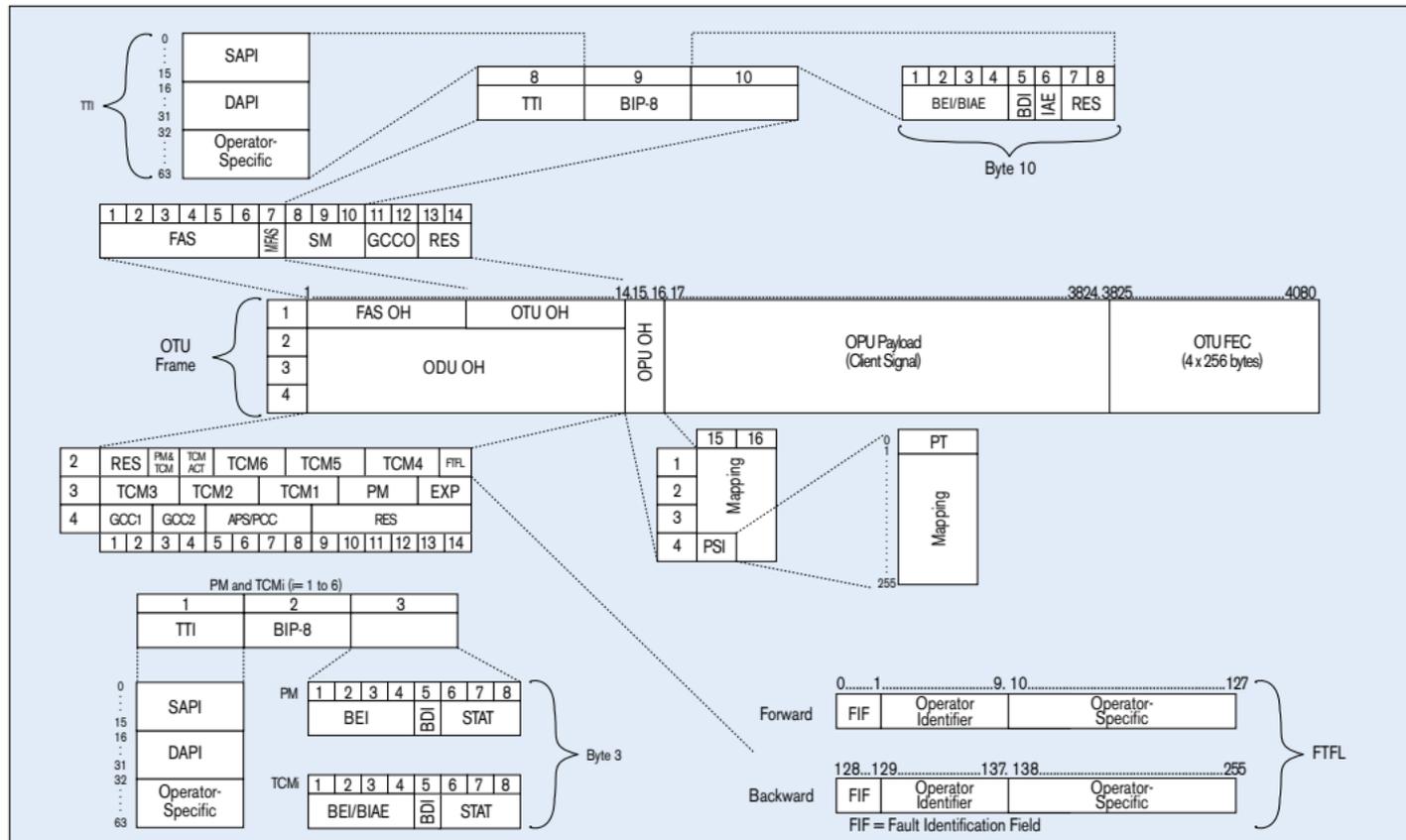


图4.1—OTU帧结构

- ▶ **帧定位信号 (FAS)** ——使用位于第1行1至6列的前六个字节。和SONET/SDH中一样，G.709使用FAS为整个信号提供成帧，并了解帧失调 (OOF) 和丢帧 (LOF) 情况。
- ▶ **多帧定位信号 (MFAS)** ——G.709支持多帧结构，其中有些OTUk和ODUk开销信号会跨越多个OTU帧。例子包括路径轨迹标识符 (TTI) 和串联连接监测激活 (TCM-ACT) 开销信号。MFAS字节用于在多个帧上扩展命令和管理功能。MFAS字节使用G.709帧的第1行第7列，随每个OTUk/ODUk帧增加，从而可提供256种多帧结构。

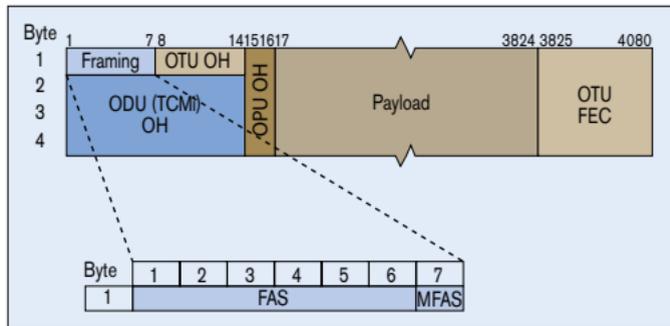


图4.2—G.709帧定位

4.2. 开销

4.2.1. 光通道传输单元 (OTU) 开销

如图4.3—OTU开销和SM结构所示，OTU开销由SM、GCC0和RES字节组成。

- ▶ **段监测 (SM)** 字节用于路径踪迹标识符 (TTI)、奇偶校验 (BIP-8) 和后向误码指示 (BEI)、后向输入定位误码 (BIAE)、后向缺陷指示 (BDI) 和输入定位误码 (IAE)。
 - **SM路径踪迹标识符 (TTI)** 是一个字节的开销字段，用来支持64字节踪迹信号。TTI用于在网络内发现从源到目的地的信号。TTI包括所谓的接入点标识符 (API) 字段，该字段用来指定源接入点标识符 (SAPI) 和目的地接入点标识符 (DAPI)。API包括有关来源国、网络运营商和管理详情的信息。
 - **SM误码比特交织奇偶校验-8 (BIP-8)** 为一个字节长的误码检测代码信号。OTUk BIP-8在特定帧的OPUk区域内计算，然后插入到两个帧之后的OTUk BIP-8开销中。

- **SM后向缺陷指示 (BDI)** 是一个比特长的信号，用于在上行方向传递检测到的信号无效状态。
- **SM后向误码指示和后向输入定位误码 (BEI/BIAE)** 是四个比特长的信号，用于在上行方向传递段监测BIP-8代码检测到的错误比特交织数据块数。它也用于在上行方向传递在段监测IAE开销中检测到的输入定位误码 (IAE) 状况。

- › **通用通信通道 (GCC0)** 字段，与SONET/SDH中的数据通信通道 (DCC) 类似，目前还未定义，但很可能用于网络管理或与通用多协议标签交换 (G-MPLS) 等协议相关的控制面信令功能。
- › **保留 (RES)** 字段，存在于整个开销中，留作以后使用。

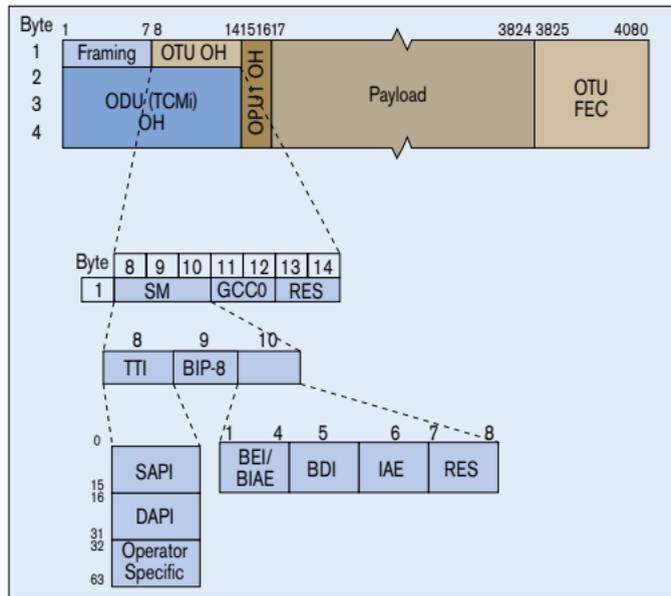


图4.3—OTU开销和SM结构

字段	定义	
段监测 (SM)	SM包括以下字节：TTI、BIP-8、BEI、BIAE、BDI和IAE	
	路径踪迹标识符 (TTI)	64字节的多帧TTI信号，类似于SONET/SDH内的J0字节。
	比特交织奇偶校验 (BIP-8)	BIP-8值涵盖G.709帧的OPU和客户端净荷，它的值在计算后被插入到第二个帧的BIP-8字段内。
	后向缺陷指示 (BDI)	在下行方向传输AIS以响应信号故障指示（如FTFL），而在上行方向传输后向缺陷指示（BDI）信号，以响应连续性、连接和维护信号故障。在连续五个帧内收到BDI时，会生成告警。
	后向误码指示 (BEI)	四个比特长的后向误码指示（BEI）用于在上行方向传递由相应OTUk段使用BIP-8代码检测到的错误比特交织数据块数。定位误码（BIAE）的值为三个比特。
	STAT	长三个比特，指示维护信号（AIS、OCI、TCMi、IAE）的存在情况。
通用通信通道0 (GCC0)	用于在两个OTU端接点之间传输信息的净通道。	
RES	保留字节，目前在该标准中未定义。	

表4.1—OTU开销字节总结

4.2.2.光通道数据单元开销

图4.4—ODU开销和PM/TCM_i结构中所示的光通道数据单元 (ODU) 开销支持两类ODU_k维护信号，使用通道监测开销 (PMOH) 状态 (STAT) 和串联连接监测 (TCM) STAT比特来上报。通过PMOH或TCM STAT比特，可报告以下ODU状况：告警指示信号 (ODU_k-AIS)、开放连接指示 (ODU-OCI)、锁定 (ODU_k-LCK) 和通用AIS。此外，ODU_k开销还支持自动保护倒换 (APS) 功能。ODU_k开销由以下几个字段组成：RES、PM、TCM_i、TCM ACT、FTFL、EXP、GCC1/GCC2和APS/PCC。

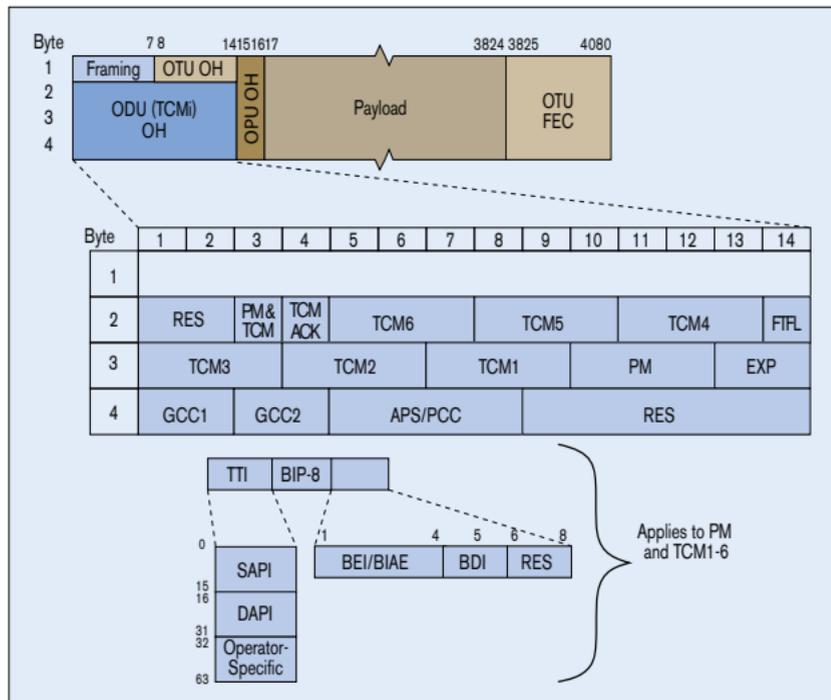


图4.4—ODU开销和PM/TCM_i结构

- › **保留 (RES)** 字节未定义，留给以后使用。
- › **通道监测 (PM)** 可在网络内监测特定段，以及在网络内定位故障。PM字节配置在第3行第10-12列，包含类似于SM内的子字段，包括：TTI、BIP-8、BEI、BDI和状态 (STAT) 子字段。
 - **PM路径踪迹标识符 (TTI)** 是一个字节的开销字段，与SONET/SDH内的J0字节类似。它用于在网络内发现从源到目的地的信号。TTI包括所谓的接入点标识符 (API) 字段，该字段用来指定源接入点标识符 (SAPI) 和目的地接入点标识符 (DAPI)。API包括有关来源国、网络运营商和管理详情的信息。
 - **PM比特交织奇偶校验 (BIP-8)** 为一个字节长的字段，用于误码检测。BIP-8字节提供一个比特交织奇偶校验——根据整个OPU计算出来的八比特代码，插入到两个帧后的BIP-8 SM中。
 - **PM后向缺陷指示 (BDI)** 长一个比特，可在上行方向传输有关系统故障的信息。
 - **PM后向误码指示 (BEI)** 和后向输入定位误码 (BIAE) 信号携带关在上行方向检测到的错误比特交织字块相关信息。这些字段还用来在上行方向传递输入定位误码 (IAE)。
 - **PM状态 (STAT)** 是三个比特长的字段，指示维护信号的存在情况。
- › **串联连接监测 (TCMi)** 字段，是ODU开销的一部分，定义六个ODU TCM子层。每个TCM子层都包含一个TTI、BIP-8、BEI/BIAE、BDI和STAT子字段，与一个TCMi级别 ($i = 1$ 至6) 相对应。
- › **串联连接监测激活/禁用 (TCM ACT)** 是一个字节长的字段，位于第2行第4列。TCM ACT目前未在标准中进行定义。
- › **故障类型和故障位置 (FTFL)** 是一个字节长的字段，位于ODU开销的第2行第14列，用来传输故障类型和故障位置 (FTFL) 消息，分布在256字节长的复帧内，用于传输前向和后向通道级故障指示 (如图4.5—FTFL字段结构所示)。前向字段被定位在FTFL消息的第0-127个字节。后向字段被定位在FTFL消息的第128-255个字节。

› **试验 (EXP)** 是两个字节长的字段，位于ODU开销第3行第13-14列。EXP是一个不属于标准的字段，由网络运营用来支持可能需要更多ODU开销的应用。

› **通用通信通道1和2 (GCC1/GCC2)** 都是两个字段，每个字段包括两个字节，它们支持任何网元之间的通用通信通道；与GCC0字段类似，区别在于它们可用于ODU开销中。GCC1位于ODU开销的第4行第1-2列，GCC2位于第4行第3-4列。

› **自动保护倒换和保护通信通道 (APS/PCC)** 是一个四字节的信号，位于ODU开销的第4行第5-8列。APS/PCC字段最多支持8级嵌套的APS/PCC信号，这些信号与专用连接监测级别关联。

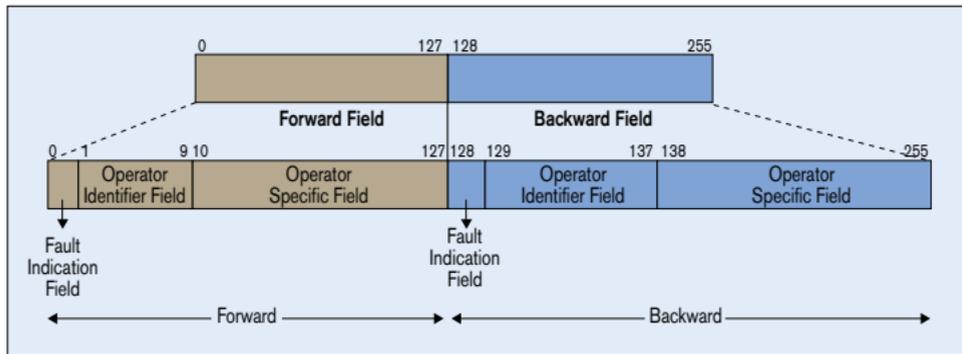


图4.5—FTFL字段结构

字段	定义								
	PM包括以下字节：TTI、BIP-8、BEI、BIAE、BDI和IAE。								
	<table border="0"> <tr> <td>路径踪迹标识符 (TTI)</td> <td>64字节的多帧TTI信号，类似于SONET/SDH内的J0字节。</td> </tr> <tr> <td>比特交织奇偶校验 (BIP-8)</td> <td>ODU PM包括一个BIP-8字段，涵盖G.709帧的OPU和客户端净荷。BIP-8值在计算后被插入到帧的BIP-8字段内。</td> </tr> <tr> <td>后向缺陷指示 (BDI)</td> <td>AIS——在下行方向转发的信号——响应信号故障指示，如FTFL或输入的ODU-AIS。在上行方向，响应连续性、连接或维护信号的是后向缺陷指示 (BDI) 信号，它通过PM和TCMi内的一个比特来指示。在连续五个帧内收到BDI时，会生成告警。</td> </tr> <tr> <td>后向缺陷指示 (BDI) 和后向输入定位误码 (BIAE)</td> <td>AIS——在下行方向转发的信号——通常响应信号故障指示，如FTFL或输入的ODU-AIS。在上行方向，响应连续性、连接或维护信号的是BDI信号，它通过PM和TCMi内的一个比特来指示。在连续五个帧内收到BDI时，会生成告警。</td> </tr> </table>	路径踪迹标识符 (TTI)	64字节的多帧TTI信号，类似于SONET/SDH内的J0字节。	比特交织奇偶校验 (BIP-8)	ODU PM包括一个BIP-8字段，涵盖G.709帧的OPU和客户端净荷。BIP-8值在计算后被插入到帧的BIP-8字段内。	后向缺陷指示 (BDI)	AIS——在下行方向转发的信号——响应信号故障指示，如FTFL或输入的ODU-AIS。在上行方向，响应连续性、连接或维护信号的是后向缺陷指示 (BDI) 信号，它通过PM和TCMi内的一个比特来指示。在连续五个帧内收到BDI时，会生成告警。	后向缺陷指示 (BDI) 和后向输入定位误码 (BIAE)	AIS——在下行方向转发的信号——通常响应信号故障指示，如FTFL或输入的ODU-AIS。在上行方向，响应连续性、连接或维护信号的是BDI信号，它通过PM和TCMi内的一个比特来指示。在连续五个帧内收到BDI时，会生成告警。
路径踪迹标识符 (TTI)	64字节的多帧TTI信号，类似于SONET/SDH内的J0字节。								
比特交织奇偶校验 (BIP-8)	ODU PM包括一个BIP-8字段，涵盖G.709帧的OPU和客户端净荷。BIP-8值在计算后被插入到帧的BIP-8字段内。								
后向缺陷指示 (BDI)	AIS——在下行方向转发的信号——响应信号故障指示，如FTFL或输入的ODU-AIS。在上行方向，响应连续性、连接或维护信号的是后向缺陷指示 (BDI) 信号，它通过PM和TCMi内的一个比特来指示。在连续五个帧内收到BDI时，会生成告警。								
后向缺陷指示 (BDI) 和后向输入定位误码 (BIAE)	AIS——在下行方向转发的信号——通常响应信号故障指示，如FTFL或输入的ODU-AIS。在上行方向，响应连续性、连接或维护信号的是BDI信号，它通过PM和TCMi内的一个比特来指示。在连续五个帧内收到BDI时，会生成告警。								
通道监测	STAT	这三个比特指示维护信号 (AIS、OCI、TCMi、IAE) 的存在情况。							
	串联连接监测 (TCM)	在ODU开销中定义了六个TCM子层。每个TCM子层都包含TTI、BIP-8、BEI/BIAE、BDI和STAT子字段。							
	激活/禁用 (TCM ACT)	一个字节长的字段，用于TCM字段激活和禁用。该字段目前未在标准中进行定义。							
	故障类型和故障位置 (FTFL)	报告通讯通道字段，用于创建消息，以提供发送前向和后向通道级故障指示。							
	实验 (EXP)	该字段是一个不属于标准的字段，可供网络运营商使用。							
	通用通信通道1和2 (GCC1/GCC2)	用于在ODU层传输信息的干净通道；与GCC0类似。							
	自动保护倒换和保护通信通道 (APS/PPC)	该字段最多支持8级嵌套的APS/PCC信号，这些信号与专用连接监测级别关联。							
	RES	保留字节，目前在该标准中未定义。							

表4.2—ODU开销字节总结

› **串联连接监测 (TCM)** 已开始在SONET/SDH网中实施, 使运营商能够监测在多个网络之间传输的流量质量。其实现方式是将一个通道分解为一系列串联通道, 每个串联通道都由不同的网络运营商所有和管理。通道上的误码和缺陷都可追踪到特定的串联通道, 从而实现快速、轻松的故障诊断。图4.6—串联连接监测为小型网络运营商 (B运营商) 的示例, 它租用大型网络运营商 (A运营商) 的网络资源, 而不是安装自己的网络。当信号通过B运营商网络传输时, A运营商需要能够对其进行监测。当网络内出现故障时, A运营商可以使用串联连接监测迅速发现故障是位于B运营商的网络内, 还是在与另一个运营商网络相连的串联通道上。此外, 还可以为不同的连接分配不同的监测功能。例如在图4.6—串联连接监测 (TCM) 中, TCM1用来监测端到端服务质量 (QoS), TCM2被A运营商用来监测其端到端QoS, 而TCM3则用于不同域以及域间互连监测。

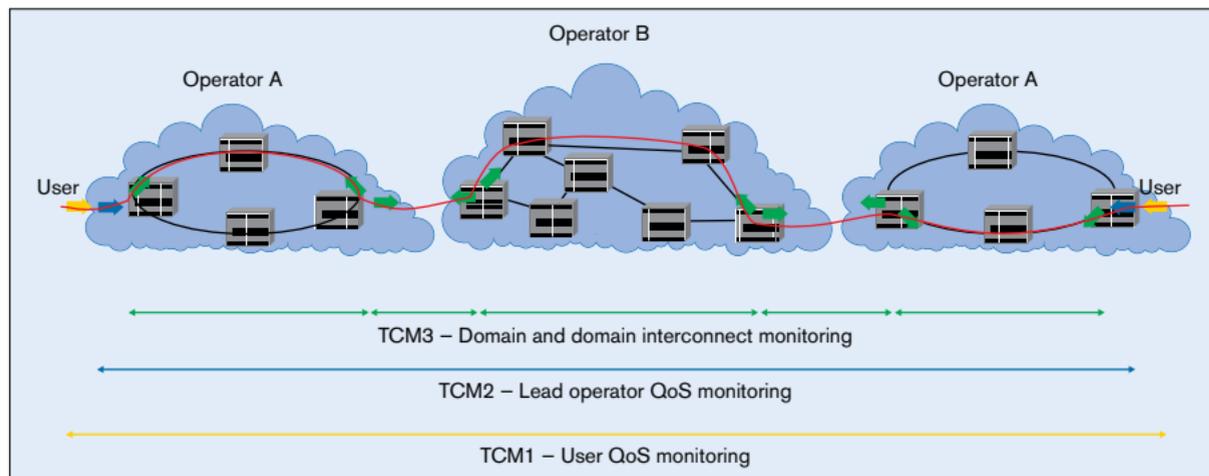


图4.6—串联连接监测 (TCM)

在光传输网内，六个TCM_i字段中的每一个都与PM字段的结构相同，包括以下子字段：TTI、BIP8、BDI、BEI和状态位，指示输入定位误码（IAE）或维护信号（STAT）的存在情况。光传输网支持三种TCM拓扑，如图4.7—OTN串联连接监测（TCM）拓扑所示。图4.7a显示的是嵌套配置中的C1-C2、B1-B2和A1-A2串联连接。图4.7b显示的是级联配置中的B1-B2和B3-B4串联连接。最后，图4.7c显示的是重叠配置中的B1-B2和C1-C2串联连接。

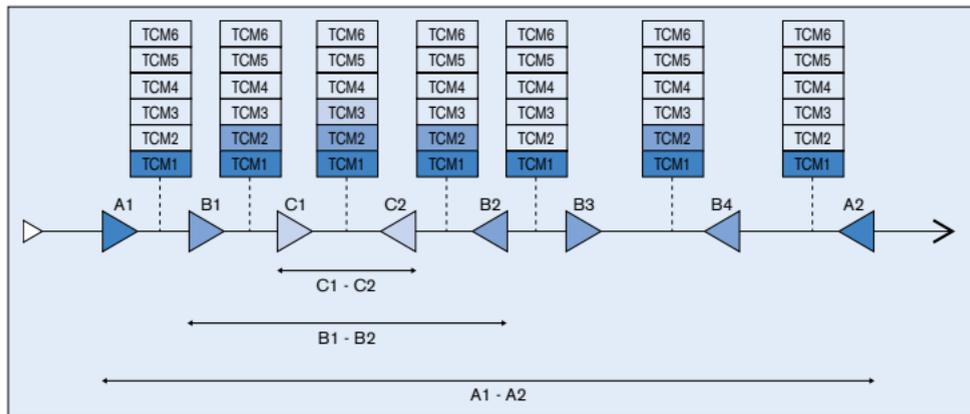


图4.7a—TCM拓扑：嵌套

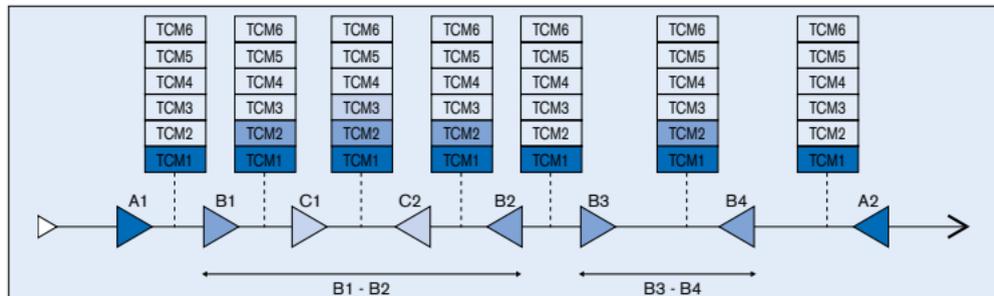


图4.7b—TCM拓扑：级联

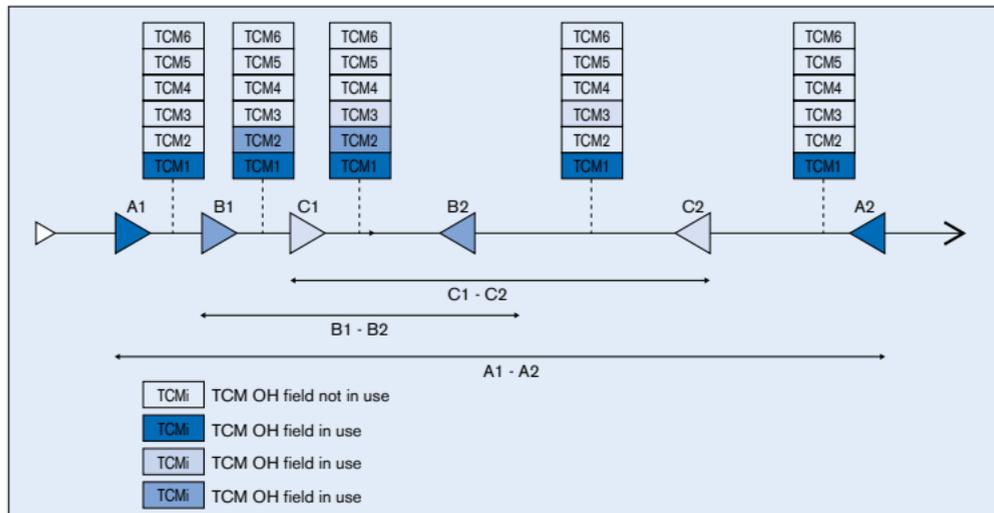


图4.7c—TCM拓扑：重叠

4.2.3.光通道净荷单元（OPU）净荷

ITU-T G.709标准已定义了比特率恒定的信号的映射，包括比特同步和异步。这包括SONET/SDH、ATM、通用成帧规程（GFP）和伪随机比特序列（PRBS）图案。在G.709封装过程中，会添加OPU开销来支持对各种客户端信号的适应。

OPU开销位于第15-16列第1-4行，在OPU信号组装和分解处被终结。OPU净荷包括以下几个字段：

- ▶ **净荷结构标识符（PSI）** 是长度为一个字节的字段，分配在OPU开销中，用于传输256个字节的PSI信号。PSI字节位于OPU开销第4行第15列。
- ▶ **净荷类型（PT）** 是一个字节长的字段，定义于iPSI[0]字节中，它包含PT标识符，报告在OPU净荷中向接收设备传输的净荷类型。表4.3包括ITU-T G.709标准目前规定的所有可能的净荷类型值。

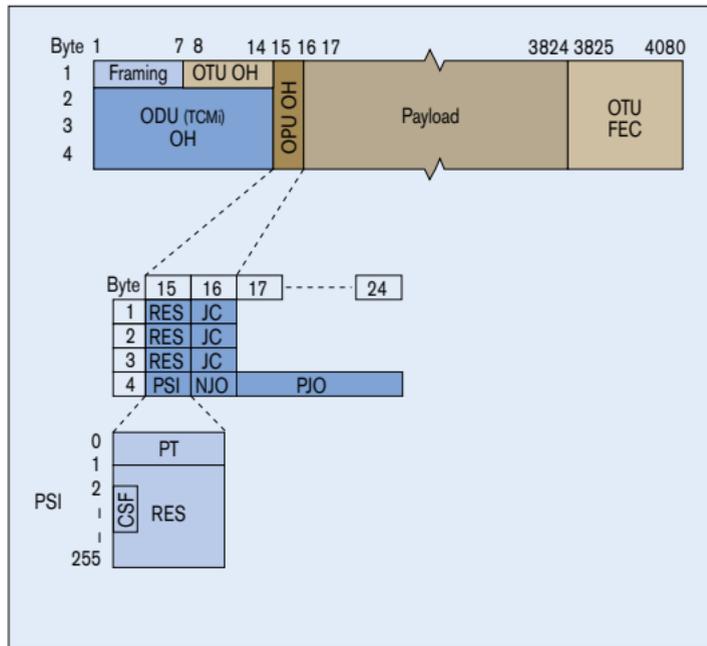


图4.8—OPU净荷与PSI字段结构

MSB				LSB				十六进制代码 (说明1)	解读
1	2	3	4	5	6	7	8		
0	0	0	0	0	0	0	1	01	实验映射
0	0	0	0	0	0	1	0	02	异步CBR映射
0	0	0	0	0	0	1	1	03	比特同步CBR映射
0	0	0	0	0	1	0	0	04	ATM映射
0	0	0	0	0	1	0	1	05	GFP映射
0	0	0	0	0	1	1	0	06	虚级联信号
0	0	0	0	0	1	1	1	07	PCS码字透明以太网映射 - 100GBASE-X到OPU0 - 40GBASE-R到OPU3 - 100GBASE-R到OPU4
0	0	0	0	1	0	0	0	08	FC-1200映射到OPU2e
0	0	0	0	1	0	0	1	09	GFP映射到扩展OPU2净荷
0	0	0	0	1	0	1	0	0A	STM-1映射到OPU0
0	0	0	0	1	0	1	1	0B	STM-4映射到OPU0

表4.3—净荷类型 (PT) 定义值

MSB				LSB				十六进制代码 (说明1)	解读
1	2	3	4	5	6	7	8		
0	0	0	0	1	1	0	0	0C	FC-100映射到OPU0
0	0	0	0	1	1	0	1	0D	FC-200映射到OPU1
0	0	0	0	1	1	1	0	0E	FC-400映射到OPUflex
0	0	0	0	1	1	1	1	0F	FC-800映射到OPUflex
0	0	0	1	0	0	0	0	10	带八位字节定时映射的比特流
0	0	0	1	0	0	0	1	11	不带八位字节定时映射的比特流
0	0	0	1	0	0	1	0	12	IB SDR映射到OPUflex
0	0	0	1	0	0	1	1	13	IB DDR映射到OPUflex
0	0	0	1	0	1	0	0	14	IB QDR映射到OPUflex
0	0	0	1	0	1	0	1	15	SDI映射到OPU0
0	0	0	1	0	1	1	0	16	(1.485/1.001) Gbit/s SDI映射到OPU1
0	0	0	1	0	1	1	1	17	1.485 Gbit/s SDI映射到OPU1
0	0	0	1	1	0	0	0	18	(2.970/1.001) Gbit/s SDI映射到OPUflex
0	0	0	1	1	0	0	1	19	2.970 Gbit/s SDI映射到OPUflex

表4.3—净荷类型 (PT) 定义值

MSB				LSB				十六进制代码 (说明1)	解读
1	2	3	4	5	6	7	8		
0	0	0	1	1	0	1	0	1A	SBCON/ESCON映射到OPU0
0	0	0	1	1	0	1	1	1B	DVD_ASI映射到OPU0
0	0	1	0	0	0	0	0	20	ODU复用结构, 仅支持ODTUjk
0	0	1	0	0	0	0	1	21	ODU复用结构, 支持ODTUK.ts或ODTUK.ts与ODTUjk
0	1	0	1	0	1	0	1	55	不可用
0	1	1	0	0	1	1	0	66	不可用
1	0	0	0	x	x	x	x	80-8F	为专门用途预留的代码
1	1	1	1	1	1	0	1	FD	零位测试信号映射
1	1	1	1	1	1	1	0	FE	PRBS测试信号映射
1	1	1	1	1	1	1	1	FF	不可用

表4.3—净荷类型 (PT) 定义值

- › **复用结构标识符 (MSI)** 字段用于在OPU中对ODU复用结构进行编码，它位于PSI信号的映射特定区域内。MSI指示OPU每个支路时隙 (TS) 的内容。
- › **调整控制 (JC)** 开销包括ODU复用过程中使用的调整控制 (JC)、负码速调整机会 (NJO) 和正码速调整机会 (PJO) 信号。调整开销字节用于在客户端信号映射/去映射过程中做出调整决策，以避免在一个或三个JC信号中出现误码。

字段	定义
净荷结构标识符 (PSI)	用来传输与MFAS对应的256字节消息。
净荷类型 (PT)	包含净荷类型 (PT) 标识符，向接收设备字段报告由OPU净荷传输的净荷类型，目前未被标准定义。
复用结构标识符 (MSI)	位于PSI信号的映射特定区域内，用于在OPU中对ODU复用结构进行编码。
调整控制 (JC)	ODU复用过程中使用的调整控制 (JC)、负码速调整机会 (NJO) 和正码速调整机会 (PJO) 信号用于在客户端信号映射/去映射过程中做出调整决策。

表4.4—OPU开销字节总结

4.3. OTU前向纠错 (FEC)

前向纠错 (FEC) 是OTN的主要特性。它采用Reed-Solomon RS (255、239)算法编码，将产生的冗余信息与传输的信号关联，然后在接收接口处根据冗余信息识别并纠正错误。实践证明，FEC在光信噪比 (OSNR) 和色散受限的系统中对提高传输性能非常有效。然而，与偏振模失真相比，FEC的表现欠佳。

图4.9—BER与Eb/No对比将支持FEC和不支持FEC功能的传输系统 (G.709) 性能进行了比较。图4.9显示，支持FEC功能的传输系统能够以特定的误码率 (BER) 传输信号，所用功率 (约为6 dB) 低于不支持FEC功能的传输系统所用功率。

如图4.10所示，在根据RS (255, 239) FEC算法传输的过程中，OTU帧数据被分成四行，每行又分成16个子行。

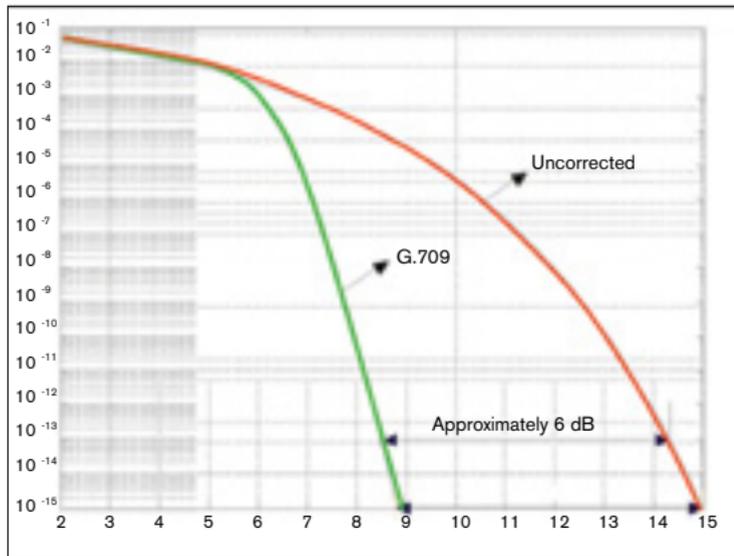


图4.9—BER与Eb/No对比

图4.11—前向纠错（FEC）机制显示了FEC协议将一个开销字节和238个数据字节交织起来，以计算16个奇偶校验字节，从而形成255字节长字块的过程；即RS (255/239) 算法。将信息交织起来的主要优点是相对于链路传输速率，降低每个数据流的编码速率，并降低对误码突发的敏感度。交织和RS (255/239) 算法的纠错能力结合起来，可对最高出现128个连续误码字节的传输突发进行纠错。

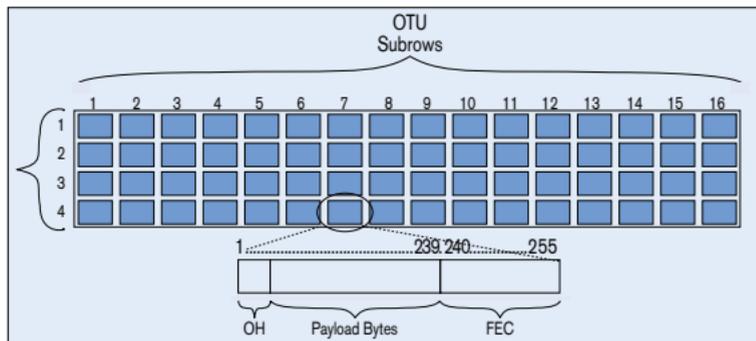


图4.10—OTU帧行

FEC提供的编码增益被用来增加最大跨段长度和/或跨段数量，从而通过增加功率水平来延伸距离。它还能够帮助增加DWDM系统内的DWDM通道数，并使用现有的2.5 Gbit/s链路来传输10 Gbit/s流量。此外，它可以在需要放大前，增加可被任何光通道穿过的透明网元的数量。最终，OTN技术使现在的点对点链路发展成透明、更有效的网状光网络。

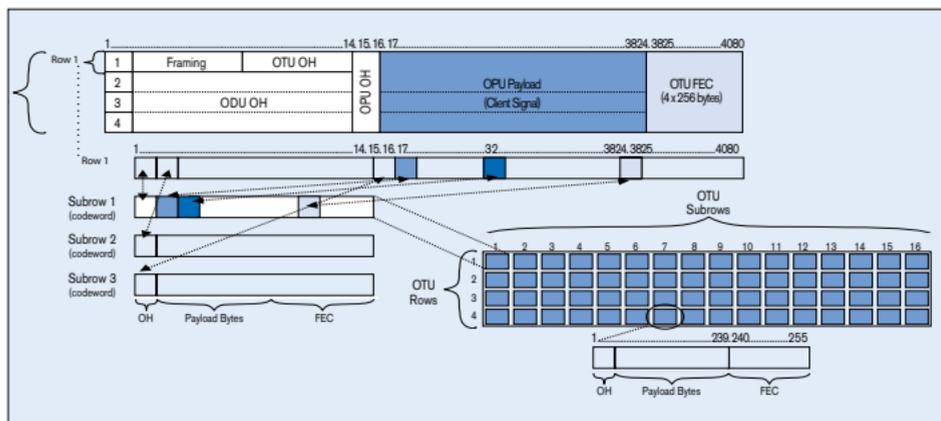


图4.11—OTU前向纠错（FEC）机制

5

ODU复用



5. 复用

5.1. ODUk复用

OTN (G.709) 还定义了复用功能，将4个ODU1复用为一个ODU2，将最多16个ODU1或4个ODU2复用为1个ODU3。它还支持在ODU3内混合ODU1和ODU2。ODU复用功能对于优化网络资源，包括带宽的使用率而言至关重要。通常情况下，包括2.5 Gbit/s数据流的客户端信号在一个DWDM波长上进行传输。在距离较短的情况下，这可能是一种有效的服务传输方法。但如果需要进行长距离的服务传输，使用专用波长的成本无疑很高。

G.709建议书定义了光净荷单元 (OPU) 来提供支持ODU复用功能所需的开销。如图5.1—ODU1复用到ODU2所示，为了将4个ODU1复用到1个ODU2，OPU2被分成多个支路时隙 (TS)，这些支路时隙在OPU2内交织在一起。每个OPU2支路时隙占用25%的OPU2净荷区域。在复用过程中，每个ODU1输入的字节都被映射到四个OPU2支路时隙的当中一个里。复用结构标识符 (MSI) 用来定义在发射器内实施的复用类型。MSI由PSI字节2-17组成，但当将ODU1复用为ODU2时，仅用到字节2-5；字节6-17被设为0，因为它们用于ODU3复用。

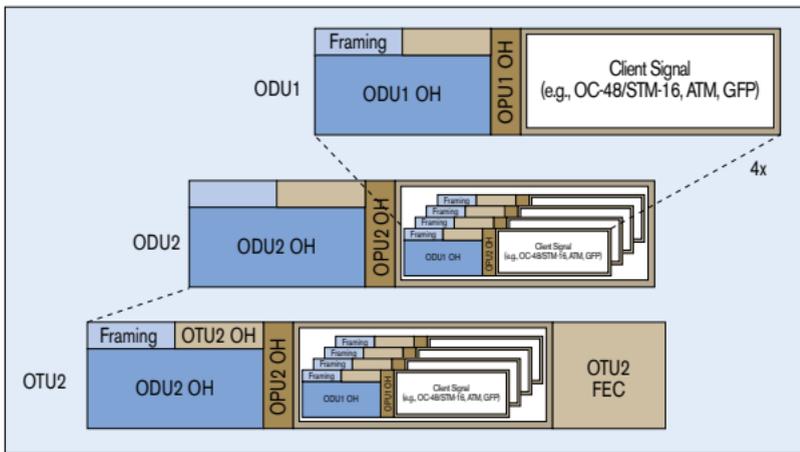


图5.1—ODU1复用到ODU2n

MSI 传输的信息如下：

- › OPU支路时隙传输的ODU类型（如OPU2支路时隙内的ODU1）
- › 支路端口和支路时隙之间的分配关系（例如支路端口1映射到OPU2支路时隙）

在ODU1复用到ODU2时，支路端口和支路时隙之间的分配关系比较固定，这意味着支路端口1被分配到支路时隙1，以此类推。最后，增加ODU2开销，然后将ODU2映射到OTU2，使信号完整，进行传输。

将4个OC-48/STM-16复用到1个OTU2的ODU复用功能对比特和时间均透明。这就确保整个客户端信号的完整性得以维护，且同步信号的输入定时传输到远端。ODU复用同样对时延透明。在将4个OC-48/STM-16信号映射到ODU1信号，然后复用到1个ODU2信号时，其时间关系被保留下来，直至ODU2信号在目的地被解映射回ODU1信号。

5.2. ODU0

为了优化千兆以太网的传输，G.709引入了一个新容器。该容器的光通道净荷单元（OPU）净荷大小为1.238 Gbit/s，完美映射以太网流量。虽然会使用一些复用调整控制机制，如通用映射规程（GMP），也使用通用承载规程（GFP）将以太网信号转码为ODU0净荷。

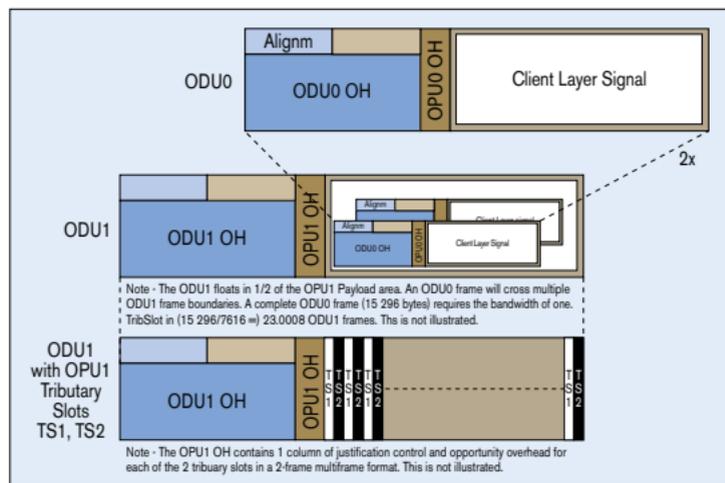


图5.2—ODU0复用到ODUk_n

为了通知接收端OPUk净荷为每个帧传输的净荷字节数，GMP会使用OPU开销（OH）调整控制字节。服务器帧（或复帧）被分为一定数量的GMP“码字”，每个“码字”可能包括数据：

- › 包含数据的“码字”通过 $\Delta \Sigma$ （sigma/delta）分布算法，在整个服务器帧上平均分布。
- › 操作正确与否取决于映射器/解映射器辨别填充进每个帧内的数据“码字”的数量的能力大小。

使用 C_m “码字”，将传输的净荷数量通过调整控制JC1、JC2、JC3字段表示；通过被指定为增量指示（II）和减量指示（DI）的2个比特来表示字节数量的变化。GMP还提供了一种机制来满足抖动要求更严格的客户端信号（如SONET/SDH客户端信号）要求。它使用调整控制JC4、JC5和JC6字节来传输一个10比特长的“码字”（指定为： $\Sigma C_n D$ ）。

引入ODU0容器来提高网络的传输效率。下图显示了使用ODU0容器进行以太网映射如何能够提高效率。为映射分配了多个时隙；在OTU1（2.5 Gbit/s）时，分配了两个时隙——每个时隙的速率为1.25 Gbit/s——总带宽约为2.5 Gbit/s。此外，还将带宽损失降低到最低限度。以此类推，可在一个OTU4管道中最多分配80个时隙。

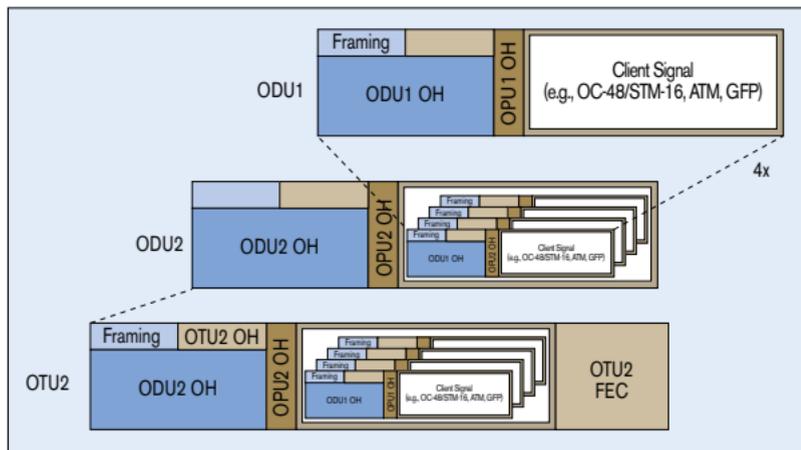


图5.3—ODU1复用到ODU2n

现在，可用于多级复用将较低的OTN速率提高到高速率，而ODU0可直接插入到ODU4 100G速率中。

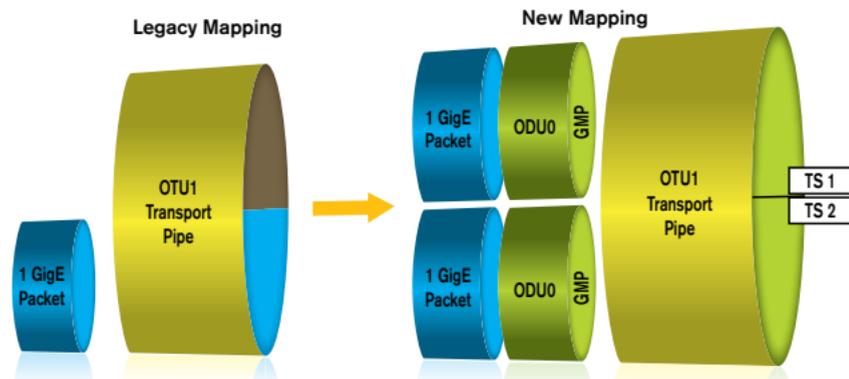


图5.4—使用ODU0容器映射GE信号，然后复用到ODU1

	2.5G支路时隙		1.25G支路时隙			
	OPU2	OPU3	OPU1	OPU2	OPU3	OPU4
ODU0	-	-	AMP (PT = 20)	GMP (PT = 21)	GMP (PT = 21)	GMP (PT = 21)
ODU1	AMP (PT = 20)	AMP (PT = 20)	-	AMP (PT = 21)	AMP (PT = 21)	GMP (PT = 21)
ODU2	-	AMP (PT = 20)	-	-	AMP (PT = 21)	GMP (PT = 21)
ODU2e	-	-	-	-	GMP (PT = 21)	GMP (PT = 21)
ODU3	-	-	-	-	-	GMP (PT = 21)
ODUflex	-	-	-	GMP (PT = 21)	GMP (PT = 21)	GMP (PT = 21)

表5.1—支路OTN映射

5.3. ODUflex

取决于需要传输的客户端信号数据速率，如果容器灵活会大有帮助，而ODUflex可提供这种灵活性。ODUflex与SONET/SDH中所用的VCAT技术相类似，提供高效、易用的分组服务和恒定比特率（CBR）信号（如光纤通道）映射解决方案。它使用1.25G支路时隙（ODTUGk）来创建可变容器，在容器中对客户端信号进行映射，然后将其通过ODUk信号传输；对于非CBR信号，ODUflex使用通用承载规程（GFP-F）进行信号映射。ODUflex的主要优势之一是可重新利用未使用的时隙，且可以调整带宽。

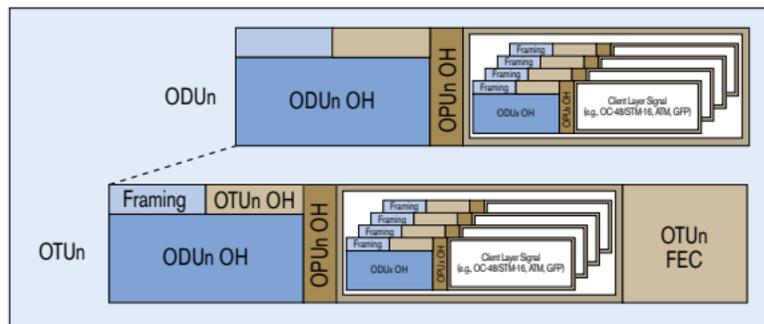


图5.5—ODUx复用到OTUn (x=0至n-1)

6

超频光传输网



6. 超频光传输网

部署 10 Gbit/s 以太网 LAN/WAN 和光纤通道服务，并在整个光传输层内终接的需求日益增长。核心网 IP 路由器是此应用的突出实例，在这种应用中，在特定位置可终接多个 10 Gbit/s 接口，并在密集波分复用 (DWDM) 核心光网络中进行长距离传输。此外，基于 ITU-T 光传输网 (OTN) 标准构建的综合分组光传输网 (POT) 可在相同的基础设施上有效地配置、传输和管理传统 TDM 服务和数据分组服务。

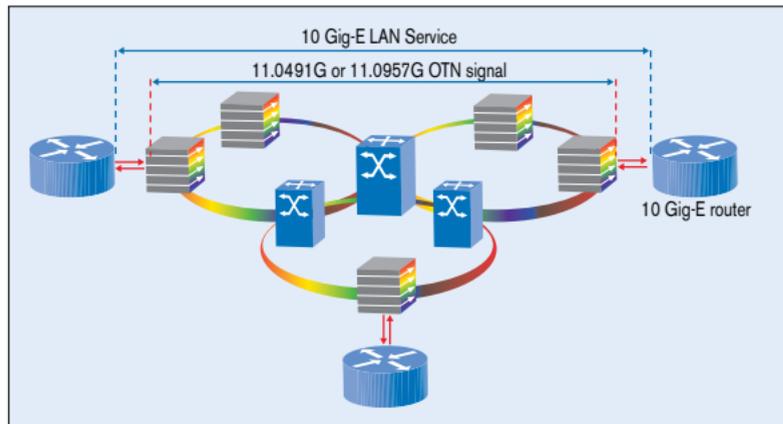


图6.1——OTN网络上的端到端IP连接

超频OTN支持OTU1e、OTU2e、OTU3e1和OTU3e2光线路速率来映射10-GigE LAN信号。此外，还使用OTU1f和OTU2f线路速率来映射光纤通道信号。

超频OTN是一种能够通过OTN网络透明传输 10 GbE LAN信号 (根据 ITU-T G系列标准, 补编43) 的技术 (如图6.1所示)。它通过将 OTU2数据速率从标准 10.709 Gbit/s 提升, 补偿了 10 GbE LAN和OPU2净荷之间的速率差, 以匹配 10 GbE LAN客户端信号的需求。显而易见, 如这样改变标准OTN线路速率, 会出现互操作性问题, 而且也会丢失将OTU2信号汇聚到OTU3的可能, 但ODU3e可实现复用。好处是超频OTN实现 10 GbE LAN信号的真正比特透明性, 这是大规模部署 10G服务的必要条件。

G.709接口	OTN线路速率	相应的客户速率
OTU-1e	11.0491 Gbit/s (无填充比特)	10 Gig-E LAN (直接在OTN上映射)
OTU-2e	11.0957 Gbit/s (有填充比特)	10 Gig-E LAN (直接在OTN上映射)
OTU-1f	11.27 Gbit/s	万兆光纤通道
OTU-2f	11.3 Gbit/s	万兆光纤通道
OTU-3e1	44.57 Gbit/s	4 x ODU2e (使用2.5G TS; 总共达到16)
OTU-3e2	44.58 Gbit/s	4 x ODU2e (使用1.25G (ODU0) TS; 总共达到32)

表6.1—超频OTN速率

10 Gig-E LAN信号的透明传输意味着整个万兆以太网数据速率 (10.3125 Gbit/s) 在OTN上传输, 包括PCS 64B/66B 编码信息、帧间填充物 (IPG)、MAC FCS、前导、帧起始分隔符 (SFD) 和有序集 (远程故障指示)。在此场景中, OTN的定时来自以太网用户信号 (± 100 ppm) 而不是标准OTU2信号 (± 20 ppm)。因此, 依据G.8251的抖动和漂移标准控制方法不适用此案例, 从而使该应用仅限于点对点数据通道。

6.1. OTU2e——10GBASE-R信号映射到OPU2e

OTU2e (不要同OTU2——10.709 Gbit/s信号标准相混淆) 是一种映射机制, 它采用G.709标准第17.1.2节定义的映射方案。将CBR 10G信号映射到OPU2。具有固定填充字节的10GBase-R客户端信号被适配装入OPU类似结构的信号, 再进一步适配装入ODU类似结构的信号, 最后进入OTU类似结构的信号。这些信号分别表示为OPU2e、ODU2e和OTU2e。

在原始10GBase-R输入客户端信号的时钟速率不同于传输层速率的情况下, 会需要正比特填充或负比特填充来进行调整。通常情况下, 当输入客户端信号的速率低于传输层速率时, 会引起正填充, 而当输入客户端信号速率高于传输层速率时, 会出现负填充。填充比特的位置信息被传送到数据链路的接收端, 在这里这些多余的比特被除去, 以便使比特流恢复到原先的比特率或形式。在这种情况下, OTU2e信号必须以11.0957Gbit/s的标称比特率进行计时。在净荷结构标识符 (PSI) 中规定特有的净荷类型 (PT) ——为专用预留的“0x80”代码。

6.2. OTU1e——10GBASE-R信号映射到OPU1e

OTU1e（不要同2.7 Gbit/s信号的OTU1相混淆）是一种将CBR2G5信号映射进上文所述OPU2的机制。然而，在这种机制中，由于CBR 10 G映射的固定填充比特没有留空，因此总速率稍低些（11.0491 Gbit/s而不是11.0957 Gbit/s）。同样，底层以太网信号的时钟容限是 ± 100 ppm而不是标准OTU2信号的 ± 20 ppm。因此依据G.8251的抖动和漂移标准控制方法不适用此案例。应在PSI中规定特有的PT，如代码“0x80”（为专用预留的代码）。

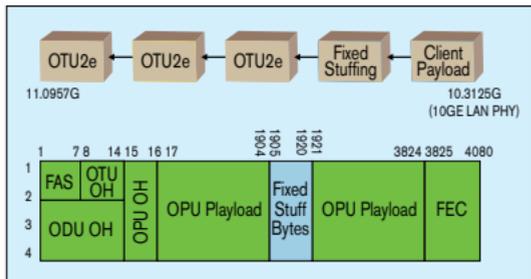


图6.2—有固定填充比特的超频OTN

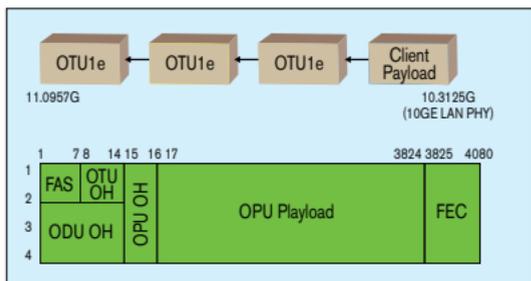


图6.3—无填充比特的超频OTN

6.3. 以GFP-F方式将10GBASE-R信号映射到OPU2

通用成帧规程（GFP）是另一种在OTN上传输10 GbE LAN或WAN客户端信号的机制。GFP-F根据G.709标准第7.3节的要求，首先将万兆以太网帧封装为GFP-F帧，然后映射到OTU2；GFP-F对以太网MAC流量进行映射，去掉64B/66B PCS子层。此外，将GFP-F帧映射到OPU2的过程使用整个OPU2净荷区域，这意味着不存在CBR 10G映射的固定填充字节。最终，在OTN上使用GFP-F的主要优势是能够在相同网络上支持各种数据分组服务。

6.4. ODU2信号映射到ODU3e

网络工程师需要直接复用万兆以太网信号，并映射到OTN上，从而导致超频OTU3e的出现。OTU3e是一种机制，使10Gig-E LAN信号能够直接在40G OTN网络上传输。将ODU2e信号复用到OTU3e信号，可提供40G电路的颗粒度，从而优化净荷并简化网络配置和维护。OTU3e2、ODU3e2和OPU3e2的帧结构与ITU-T G.709标准规定的OTUk、ODUk和OPUk帧结构相同。OPU3e2承载一个或多个ODU_j（j=2e）信号。



光传输网元测试



7. 光传输网元测试

当然，对每种类型的网络，测试可以始终确保最佳的性能。为了确保OTN设备符合ITU G.709和ITU G.798规范要求，应进行以下测试：

- › 接口规范测试
- › 响应测试
- › 合规性和互操作性测试
- › 客户端信号映射/去映射测试
- › 适当FEC行为测试
- › ODU1复用到ODU2



图7.1—接口规范测试配置

7.1. 接口规范测试

接口规范测试对于确保来自一个或多个厂商的设备的互操作性至关重要。该测试的主要目的是验证被测的G.709网元所有接口的输入参数，包括合适的OTUk速率，并确保正确完成同步的恢复。

在图7.1—接口规范测试配置所示的接口规范测试配置中，必须首先检查与输入信号的同步。例如，必须检查OTU1和OTU2接口的时钟偏离，以确保它在规定的 ± 20 值范围内。

也可以使用光衰减器来降低光功率，直至达到输入接收器的阈值来进行光功率灵敏度等其它测试，而光功率计可用来测量支持的最低光输入功率。

7.2. 响应测试

网元响应测试包括向被测设备发送警示信号（误码或告警），并监测其相应的输出和结果。在OTN中，一个警示信号可能导致同时出现多个响应。图7.2—DUT响应测试配置中的示例显示了测试设置和在接收器检测到信号丢失（LOS）的预期响应。

必须为被测设备响应的各种可能输入警示信号重复响应测试。表7.1列举了被测网元在上行和下行方向可能收到的警示信号及其相应的响应（告警/误码）。

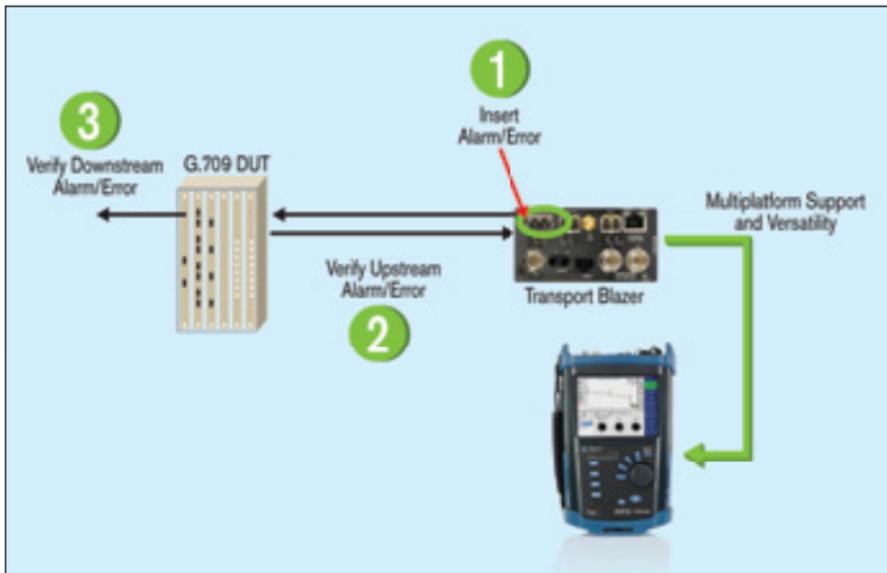


图7.2—DUT响应测试配置

7.3. 合规性和互操作性测试

ITU合规性和互操作性测试可判断DUT在正确的警示和标准规定的时间内检测各种事件的能力。标准通常定义了生成和解除告警事件的标准，一般为一定数量的帧或一段时间。在类似于图7.2所示的DUT响应测试配置中，建议模拟各种测试周期内的警示情况（告警/误码）。这样，就可以模拟各种数量帧的告警情况，并确认能够满足告警的进入和退出标准。

7.4. 客户端信号映射测试

光传输体系设计用来传输各种同步和异步净荷。如图7.3—客户端信号映射测试配置所示，通过使用OTN解耦模式，用户能够在传输方向生成SONET/SDH客户端信号，并验证收到的带SONET/SDH客户端信号映射的OTN信号。该配置使测试设备能够判断DUT是否按照映射规范成功地恢复OPU净荷。在将SDH/SONET信号映射到OPU信号时，通过使用调整（填充）字节来适应客户端信号和OPU时钟之间的速率差。

警示信号	上行告警/误码	下行告警/误码
LOS-P、LOF、AIS-P、LOM	OTU BDI	OTU-AIS
OTU BIP-8	OTU BEI	
OTU TIM	OTU BDI	OTU-AIS
OTU IAE	OTU BIAE	
ODU AIS	ODU BDI	ODU AIS
ODU BIP-8	ODU BEI	
ODU TIM	ODU BDI	
ODU OCI	ODU BDI	ODU AIS
ODU PLM		ODU AIS

表7.1—警示信号和DUT响应。

可在相反方向验证客户端信号的解映射过程。再次使用OTN解耦模式，测试设备可用来在传输侧生成带SONET/SDH客户端信号映射的OTN信号，然后在被测的转发器一侧验证被解映射的SONET/SDH客户端信号。

7.5. 适当FEC行为

由于前向纠错（FEC）是OTN的一个关键组成部分，用来提高服务质量，因此需要作为G.709的部分功能进行验证。为了判断DUT的适当FEC行为，测试设备将用来生成可纠正或不可纠正的误码，通过OTN网络进行传输。在接收端，检查收到的信号，以判断DUT是否纠正或检测到误码。

如图7.4—适当FEC行为测试配置所示，通过插入不同数量的误码，分布于OTN帧的FEC部分，然后检查DUT的纠错功能，从而完成该项测试。这样做，可便于在不影响流量的情况下，发现意外行为。可通过在整个OTU帧上随机分布可纠正的误码进行高级FEC行为测试，DUT应能够恢复这些误码。如果不能，净荷将受到影响。

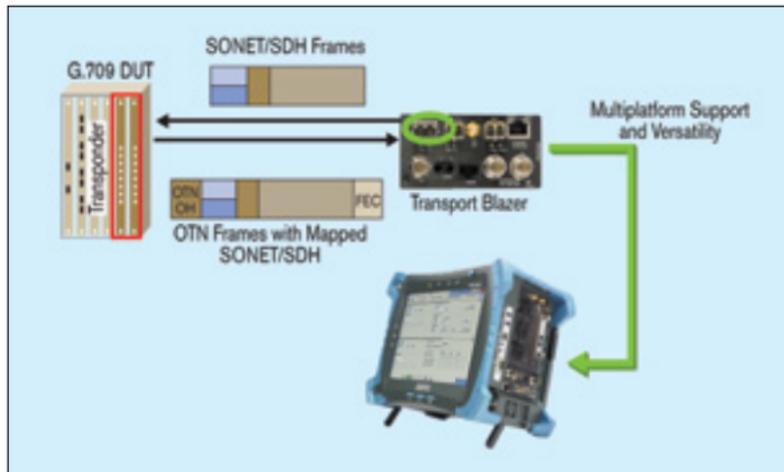


图7.3—客户端信号映射测试配置

7.6. ODU1至ODU2复用

ODU1至ODU2复用功能测试也是一个关键参数，作为G.709部分功能需要进行验证。为了判断被测网元的复用功能是否合适，测试设备应处于OTN解耦模式，从而在传输侧生成OC-48/STM-16信号或OTU1信号。接下来，采用适当的开销和FEC带宽，将传输信号在G.709网元上的ODU2信号内复用，以组成最终的OTU2信号。最后，在测试设备检查接收到的OTU2信号，以验证ODU1至ODU2的复用是否采用合适的频率调整和同步，如图7.5—ODU1至ODU2复用测试配置所示。

7.7. ODU0至OTU2复用

将千兆以太网服务映射到ODU0中，是鉴定容器是否为多平台网络一部分的关键。在进行该测试时，目的端口配置的期望净荷类型（PT）与源端口配置的注入净荷类型相匹配，以完全获得千兆以太网统计数据极为重要。

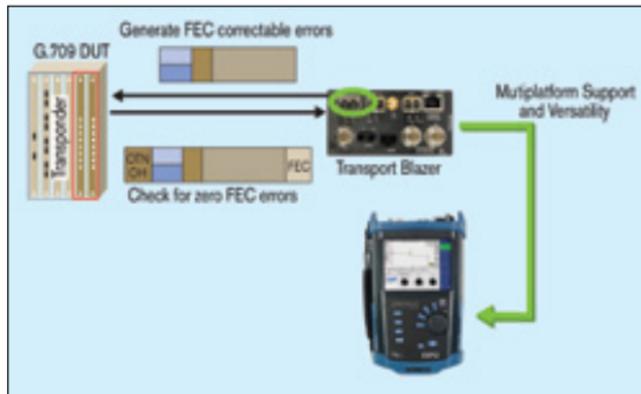


图7.4—适当客户端信号映射测试配置

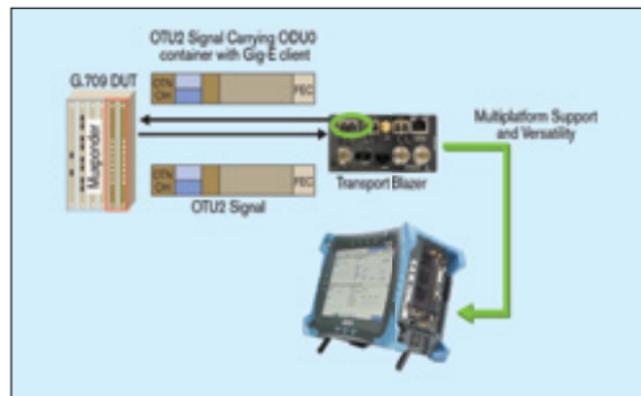


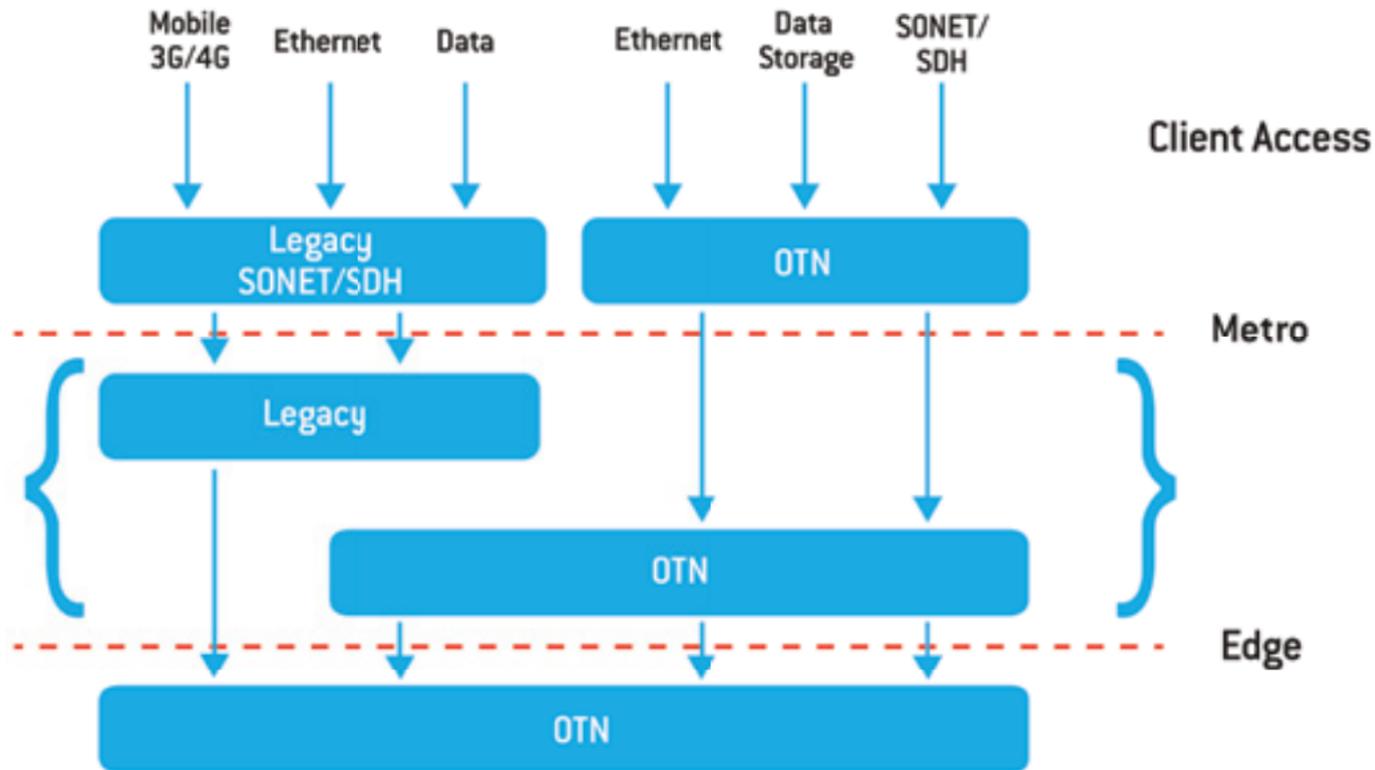
图7.5—ODU1至ODU2复用测试配置

7.8. OTN即服务

在目前的传输网中，OTN用于从核心网到边缘网，实现全面覆盖。在核心网，OTN用来提供10、40和100 Gbit/s的高传输速率。在边缘网中，OTN才刚刚发展起来，为运营商和客户带来多种好处。优势之一是它能够在整个网络内，而不仅仅是边缘，提供完整的端到端性能监测，从而提供可靠的告警和错误监测。服务提供商应知道的其它优势包括：

- › 服务灵活性（如可以通过OTU2服务传输万兆以太网或OC 192/STM-64信号，甚至是通过OTU0传输更高的以太网信号，而不会“烧坏”带宽）。
- › OTN可用于传输传统服务，但也可以实现向MEF运营商2.0服务的融合。相应地，它也可被认为是一种“按需付费”架构。
- › OTN的内置OAM功能远远超过一些传统技术，这意味着它可以提高服务质量（QoS）。

作为一种服务，OTN可通过添加低阶ODU0和ODUflex容器，更灵活地优化传输容器。（如欲了解ODU0和ODUflex详情，请在本指南中参阅相应部分内容。）借助于新的通用映射规程（GMP），灵活的理念可优化将任何比特率的客户端信号映射到更高比特率容器内的过程，而不需要为每对客户端信号/容器进行各自映射。GMP用来将经过转码的千兆以太网信号或任何恒定比特速率流量映射到OPU0或ODUflex中，直至更高阶的OPU4。如上文所述，OTN电路的透明性和灵活性对服务提供商来说非常诱人，它们正计划找到新的收入来源并提供更多服务。图7.8.1详细显示了OTN带来的透明性和灵活性，它还进行了优化以支持任何客户端信号。



7.8.1 目前的OTN结构

以前在城域网和边缘网进行的测试现在需要在接入网侧进行，这就为那些习惯以太网、IP、光纤通道（FC）、SONET/SDH和其它技术的技术人员带来了新挑战。这些挑战包括：

- › 需要开发新的服务开通过程
- › 对现场技术人员进行OTN技术培训
- › 测试设备的可用性
- › 测试和诊断过程故障

如图7.8.2所示，虽然新挑战从网络一端延伸到另一端，但可以采用提供简单用户界面并支持各种客户端信号（包括SONET/SDH、FC、以太网和OTN）的合适测试设备来减少挑战。另外，多功能测试设备解决方案也可以缩短技术人员的学习时间，从而帮助运营商和服务提供商降低成本。

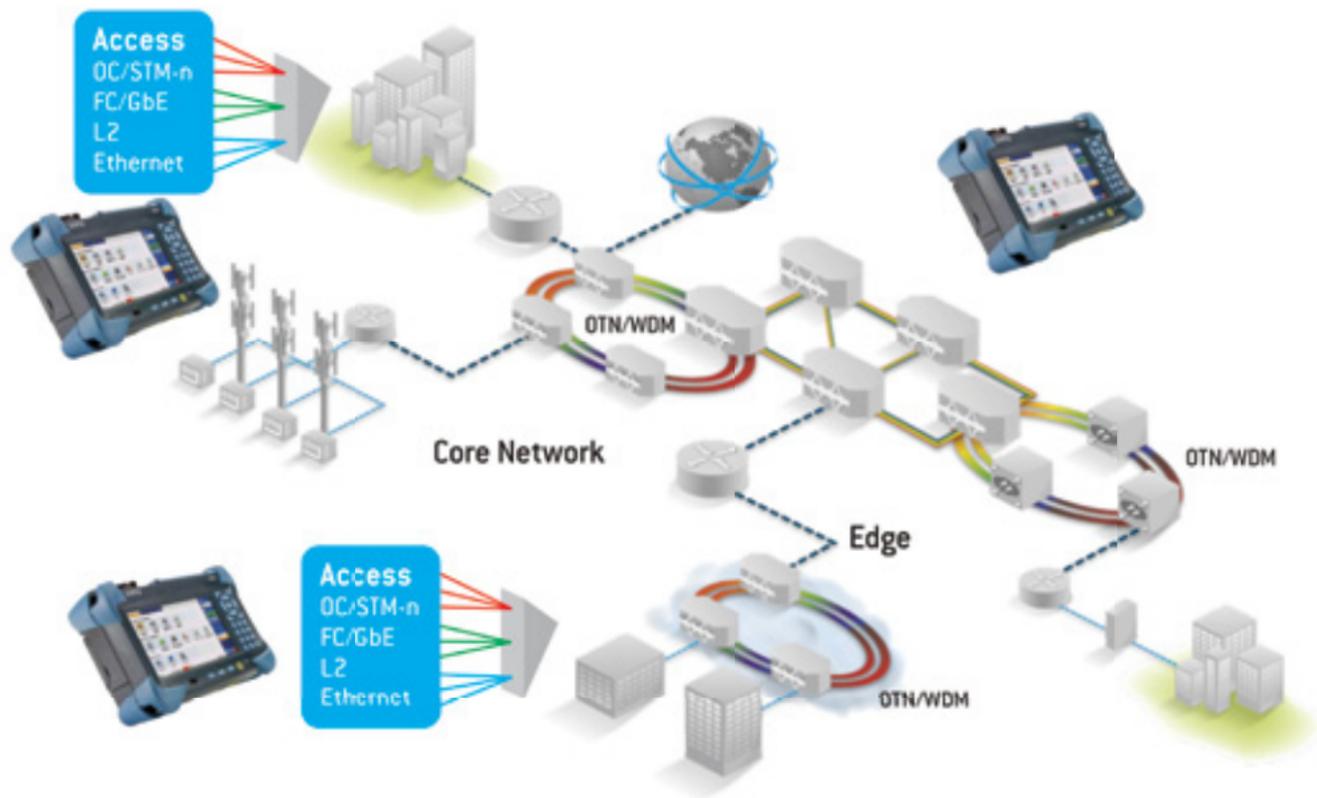


图7.8.2—端到端OTN测试配置

8

结束语



8. 结束语

为了满足不断增长的带宽需求、控制成本并保持竞争力，服务提供商正部署ITU-T G.709标准定义的下一代光传输网。G.709技术包括前向纠错和更强的网络管理，从而以全透明的方式在单波长上提供可与SONET/SDH相媲美的功能。

目前，服务提供商面临着建立对新OTN网的信心，并兑现向最终用户提供更高性能的承诺的挑战。这就使得向测试和测量市场推出G.709测试功能成为可能。服务提供商已配备所有的G.709测试设备，进行实验室标准化、互操作性测试、现场部署和故障诊断。

9

缩写词



9. 缩写词

APS	Automatic Protection Switching
AIS	Alarm Indication Signal
BDI	Backward Defect Indication
BEI	Backward Error Indication
BIP-8	Bit-Interleaved Parity-8
BIAE	Backward Incoming Alignment Error
CSF	Client Signal Fail
DAPI	Destination Access Point Identifier
DUT	Device Under Test
DWDM	Dense Wavelength-Division Multiplexing
DW	Digital Wrapper
EXP	Experimental
FEC	Forward Error Correction
FTFL	Fault Type Fault Location
FAS	Frame Alignment Signal
GFP	Generic Framing Procedure
GCC	General Communication Channel
laDI	Intra-Domain Interface
IrDI	Inter-Domain Interface

IAE	Incoming Alignment Error
LOF	Loss of Frame
LOFLOM	Loss of Frame and Loss of Multi-Frame
LOL	Loss of Lane Alignment
LOOMFI	Loss of OPU Multi-Frame Identifier
LOR	Loss of Recovery
LOS	Loss of Signal
LCK	Locked
MFAS	Multiframe Alignment Signal
MSI	Multiplex Structure Identifier
NE	Network Element
OCh	Optical Channel
OH	Overhead
OLA	Optical Attenuator
OLP	Optical Power Meter
OMFI	OPU Multi-Frame Identifier
OOR	Out of Recovery
OPU	Optical Channel Payload Unit
OTN	Optical Transport Network

OTU	Optical Channel Transport Unit
OMS	Optical Multiplexing Section
OTS	Optical Transmission Section
OSC	Optical Supervisory Channel
ODU	Optical Channel Data Unit
OAM&P	Operations, Administration, Maintenance & Provisioning
OADM	Optical Add/Drop Multiplexer
OOF	Out of Frame
OOM	Out of Multiframe
OCI	Open Connection Indication
OSNR	Optical Signal-to-Noise Ratio
PSI	Payload Structure Identifier
PCC	Protection Communication Channel
PM	Performance Monitoring
PT	Payload Type
PRBS	Pseudo-Random Bit Sequence
PMD	Polarization Mode Distortion

RS	Reed Solomon
RES	Reserved
SAPI	Source Access Point Identifier
SM	Section Monitoring
SONET	Synchronous Optical Network
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
STAT	Status
TCM	Tandem Connection Monitoring
TTI	Trail Trace Identifier

未经EXFO事先书面许可，不得以任何形式或方式
复制本指南的任何部分。

加拿大印刷和装订

ISBN 978-1-55342-103-0

法定送存—加拿大国家图书馆2013

法定送存—魁北克国家图书馆2013



如欲获得有关我们任何产品和服务的详细信息，或者下载技术和应用说明，请访问我们的网站：www.exfo.com。

EXFO