

白皮书：从SONET/SDH到OTN的演进

简介

过去20年，SONET/SDH一直是传输网络的主导协议。但如今，OTN已崭露头角并成为传输网络的首选。所有大型服务提供商均致力于部署OTN，并将其视为关键的传输技术。电信设备制造商也对这样的变化予以积极响应，把注意力从基于SONET/SDH传输系统的开发转移至更新的、基于OTN的系统。

本白皮书对上述两种协议进行对比，就OTN如何以及为何已经取代SONET/SDH成为最佳传输协议进行阐述。

OTN原理

传输协议已历经很长时间的发展，每一代技术都继承了上一代的很多特质和作用。在对SONET/SDH和OTN进行比较时，这一点尤为明显。

SONET/SDH原本旨在对上世纪80年代后期最盛行的DS1、DS3和E1等电信信号进行有效的多路复用。SONET/SDH通过定义速率为1.5 Mb/s、2 Mb/s、和50 Mb/s的传输容器，并将其复用为速率为155 Mb/s到10 Gb/s不等的汇聚信号，从而得以实现。虽然这样的精细粒度非常适合当时常规的用户带宽，但是却有碍于SONET/SDH进行扩容，以便有效承载更大的净荷（如10 GB/s）。

最初，SONET/SDH网络单元作为OSI协议栈的光子层和物理层（L0和L1）通过光缆直接连接。从20世纪90年代开始，为了满足基于单光纤提升带宽的需求，DWDM技术被引入，从而引发了WDM网络的部署，并充当现有SONET/SDH架构的底层传输网络。这也使得服务提供商必须安装、自动配置并维护两个独立的传输层网络。

DWDM网络一个独具吸引力的特点是其透明化的客户数据传输方式。当SONET/SDH对PDH信号进行透明化传输时，需要对数据信号进行适配变换或者部分终结，并对较低速率的SONET/SDH信号进行多路复用。在通过一个服务提供商的网络传输另一个服务提供商的SONET/SDH信号时，这会产生问题，因为传输开销通道所包含的网络管理功能无法透明地穿越另一家服务提供商的网络。

当SONET/SDH网络的所有这些问题清晰明了后，OTN应运而生，被明确定义为专注更大带宽信号的传输、涵盖DWDM和现有TDM传输层的网络，为客户信号提供透明传输。

与SONET/SDH的对比

可想而知，OTN和SONET/SDH有很多相似点，正如当初对SONET/SDH进行定义时从以往的技术吸收的诸多功能。这些相似点包括：

- 成帧和加扰
- 层结构（路径层、线路层和段层）
- BIP-8 错误监测
- 前/后向纠错和告警指示
- 通信通道
- APS 保护信令
- 字节复用

然而，尽管两者具有明显的相似性，鉴于SONET/SDH设备很多年安装和运行所获得的经验，SONET/SDH和OTN之间还是存在很多显著差异。

层结构(段层、线路层和路径层)

SONET/SDH被定义为三层体系结构（线路层、段层和路径层），但OTN只有段层和路径层两层结构。SONET线路层（又称复用段）用于实现错误隔离和保护。OTN通过串联连接维护（TCM）功能提供更为灵活的网络错误监测和保护，所以不再需要线路层。

帧结构

构成SONET/SDH块状帧的行列数有异于OTN，但差别不大。帧结构的主要差异在与OTN容器具有固定数量的字节和可变的帧周期，而SONET/SDH的帧周期不变，每帧的字节数根据信号速率变化。例如，OTU1、OTU2、和OTU3信号均为16320字节（4080行x4列），帧周期分别为48.971, 12.191, and 3.035 μ s，相反，OC-3、OC-12、OC-48信号的字节数分别为3x810、12x810和 48x810，但帧周期均为125 μ s。

信号比特率

高速率信号由偶数个 9x90 字节的 STS-1 结构的信号同步复用而成，因此所有 SONET/SDH 的信号速率都是 51.84 Mb/s 基本速率的偶数倍。由于不同速率的 OTN 帧具有相同的字节数，高速帧可能被认为恰好是对低速帧的复用，然而，事实并非如此。每个相应的高等级的 OTN 帧频是基于对低等级的帧进行完全封装，并加入 OTUk 开销（包括 FEC）。因此，OTN 的时钟/时序和 SONET/SDH 也不同，高速率的 OTN 信号并不是低速率信号的整数倍。

比特误码侦测

OTN 基本上沿袭了 SONET/SDH 的 BIP-8 监测功能，但因为帧结构（固定字节数 vs 固定帧周期）的差异，相对于较高速率的 SONET/SDH 业务（如 STS-12c、STS-48c 等），只有单个的 BIP-8 来处理增长的大量数据，而 OTN 就没有这个弊端。

透明度

DWDM网络其中一个关键特性是以透明方式传输客户协议（包括OTN客户端业务）的能力。这表明了在不损数据、开销和定时的情况下对OTN信号进行复用的可能性。SONET/SDH 虽然可以透明传输PDH 业务，但无法在不终结时钟和开销的情况下传输SONET/SDH业务。

多运营商网络 (TCM)

SONET/SDH管理的其中一个缺陷是无法为多运营商环境提供保证数据完整性和错误隔离的方法。对SONET/SDH信号进行监测直接和路径层、线路层和段层相关。路径层监测是端到端，段层监测发生在每组再生器之间，而线路层检测是在ADM节点之间。让每个运营商去监测网络单元之间的服务势必非常繁琐，尤其是当ADM节点牵涉不止一个运营商网络。TCM 将监测功能从路径层和段层分离出来，并通过定义多组（最高6个）连接进行终端到终端的监测，从而针对运营商任何一部分的网络提供一套单独的警报和比特误码计算系统。虽然串联方式也最终被引入SDH网络，但是从未进行大量应用。

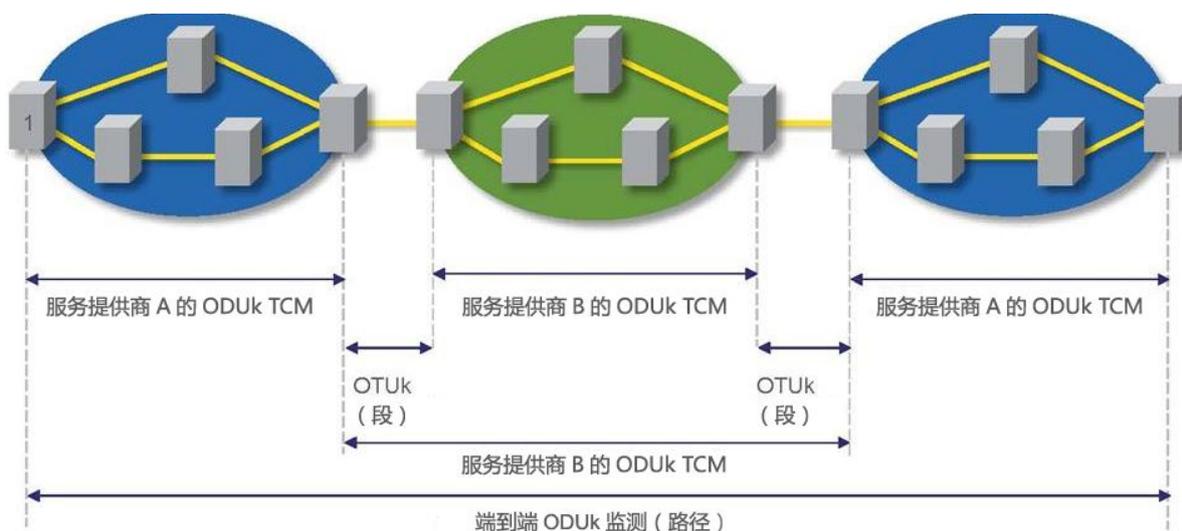


图 1 - 面向多运营商网络的TCM

图1描述了多个服务提供者如何利用单层TCM功能对各自的网络进行个别监控。OTN 支持6层嵌套或重叠TCM功能，从而对更多的完整网络进行监测。

引入FEC功能

前向纠错（FEC）功能用于在传输网络中纠正通常因长距离光纤路径产生过度色散而造成的传输误码。虽然有些SONET/SDH网络经专门安装实施后自带FEC功能（通常适用于STM-64/OC-192信号），但这并非标准配置，而且部署非常有限。与之相比，FEC 是OTN网络的一部分。除了OTN标准规定的、采用Reed-Solomon算法的标准FEC外，OTN还可以采用其它具有更高性能的专有FEC方案。

VCAT 和ODUflex的对比

SONET/SDH网络利用虚拟级联（VCAT）技术，能让“各种容量”的容器映射各种客户信号，包括千兆以太网信号、光纤通道信号和视频信号。虽然VCAT针对OTN 同样做了定义，但并无现场应用，所以灵活速率光数字单元（ODUflex）随后取而代之，以更加简单的方法构建OTN容器，成为众多客户的首选。VCAT 和ODUflex主要差异在于：ODUflex是尺寸可变的单一容器，而不是一组容器。因此，ODUflex更易于管理（仅一个净荷、一个容器和一组开销），也不需要解决差分时延的机制。当然，单一容器不支持VCAT所提供的多路径路由和保护功能。

映射调整

同步净荷包（SPE）在固定结构的STS帧内起始点是浮动的，所以SONET/SDH利用信号帧中位于固定开销位置的指针对SPE的起始点进行定位。OTN则回归正/负填充机制，类似与PDH复用所采用的方法。这两种方法都通过定时向SONET/SDH/PDH帧填充一个字节或将某净荷字节标记为未使用，来调整客户信号和服务层信号之间的微小时钟速率差。异步映射规程（AMP）要求服务器信号的净荷带宽和被映射的客户信号相当。针对OTN最新的通用映射规程（GMP）已被制定，并作为另一种映射/调整法。这种方法把不限数量的“填充字节”插入任意信号帧，从而将任何更小带宽的客户信号映射至既定的服务器层净荷。

分层复用

PDH信号的多路复用遵循一个多层结构，通过这个结构DS0复用到DS1，DS1复用到DS2，DS2复用到DS3。为了防止网络单元在转换或重新整理更低带宽信号前需要撤销多个等级的复用到程，SONET/SDH不采用这种分层复用的方式。OTN一开始沿用了相同的理念，主张单级复用（例如，把ODU1信号直接复用到ODU3，而不是首先把ODU1复用到ODU2）。然而，最新的OTN标准已经针对所有OTN容器容量规定了多级复用，因此，目前OTN既支持类似PDH的多级复用，也支持类似SONET/SDH的直接复用。

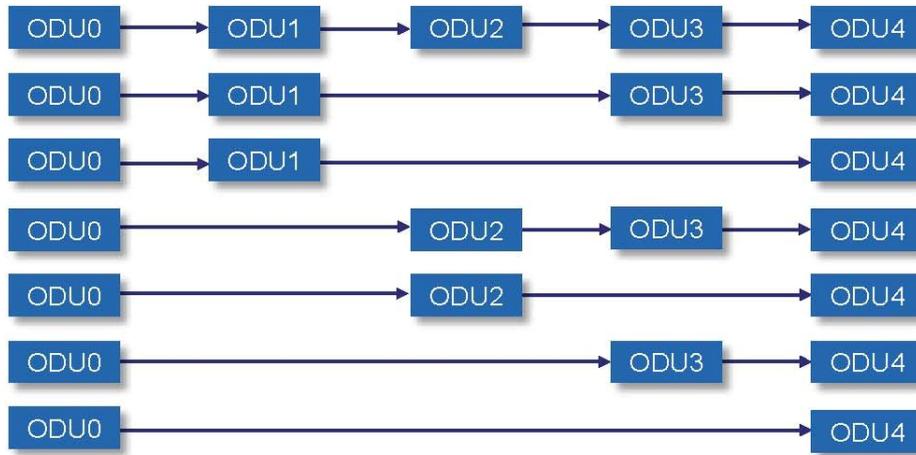


图 2 - 分层复用

其结果是产生了大量可能的复用组合。图2描述了ODU0复用到ODU4的7种途径。

常规设备平台

SONET/SDH网络的设备经历多年发展。起初，SONET/SDH设备主要是简单的终端复用器，将许多DS1/E1和DS3信号复用到OC-3/STM-1、OC-12/STM-4和OC-48/STM-16传输信号。然后发展到分插复用器，实现了环形拓扑和线性分插链路结构。多业务配置平台（MSPP）为更多类别的客户信号，如以太网、ATM等，增加了功能。最终，MSPP发展为多业务传输平台（MSTP），通常包括DWDM和/或OTN的功能。

OTN设备从SONET/SDH的MSPP平台和DWDM网络的光分插复用器（OADM）演变而来。OTN最早的应用是数字包封功能，主要是接收非OTN信号（如SONET/SDH信号），不经复用或交叉，仅在传输前映射到OTN。其主要的好处在于OTN协议的FEC功能，它实现了更好的性能，尤其是在长距离传输的情况下。数字包封技术也被应用于MSTP和OADM。OADM已经发展至软件可重置版本，即可重置光分插复用器（ROADM），而且这些系统均包括（执行数据包封的）转换器（Transponder）卡和复用转换器（Muxponder）卡。Muxponder包含了复用功能，将多个低速率信号复用到单一OTN信号。

最新的传输平台，亦称为分组光传输系统（P-OTS），将ROADM的Transponder和Muxponder功能与OTN容器（如ODU_i）转换相结合。在很多应用案例中，这些系统还能为以太网或MPLS等服务提供包交换功能，从而实现更为灵活的传输平台，依托自身便能完成电路和包交换。

OTN 的挑战

从SONET/SDH向OTN的演进产生了一个新的传输层协议，它汲取了SONET/SDH（以及上一代协议）的最佳功能，同时根据当前的网络需求（多运营商网络、更高带宽、DWDM技术整合等）进行量身打造。但是，OTN自身也不乏挑战。

FEC标准化

虽然OTN标准规定了FEC功能，但为了提供更高性能，（芯片或设备）厂商已经开发出专有FEC 方案。从实现互操作角度看，这造成了设备部署的复杂化，不过由于标准FEC的存在，而且该标准可以用于不同厂商设备的互连，所以大大缓解了互操作方面的问题。但就商用芯片而言，这也意味着旨在为大范围应用而开发的芯片必须支持多个FEC方案，从而增加开发的成本和时间。

对个别映射方法和诸多复用技术提供支持势必给大规模传输网络的自动配置、监测和调试增加难度，同时也给OTN设备的设计和测试增加了相当大的复杂度，因此提高了成本，也有碍客户获得解决方案。

部署OTN

迄今为止，OTN的部署主要针对SONET/SDH和10GE信号的传输，但最近很多OTN标准的变化拓宽了功能，实现了对40 Gb/s和100 Gb/s运行的支持，并针对千兆以太网和诸如光纤通道和视频等其它协议增加了更强的性能。虽然对许多低速信号（<10 Gb/s）的复用和传输确实存在一定市场，但是今后 OTN主要将针对传输网络的核心应用，并继续关注高带宽管道。

利用P-OTS设备的开发实现OTN交换，让OTN真正具有联网特征，并在网内实现了更大范围的部署应用、提供了更多的保护选项。虽然很多最新的SONET/SDH网络设备具有交换功能，但是大部分已部署的网络单元主要执行复用和保护倒换功能，只有一些大型核心节点真正实施交换功能。同样，很多设备关注SONET/SDH 系统的环形拓扑功能，而OTN设备的部署有可能更注重网状网络方式。此外，包交换功能和P-OTS设备中的OTN交换功能的整合计划也会对如何部署OTN设备产生显著影响。

结语

很显然，OTN利用了PDH和SONET/SDH等网络技术的许多要素，但仍不失为是传输技术的一个重大进步。全球的服务提供商已经将OTN作为首选的传输技术着力部署。各厂商也投身其中，全力开发新的设备，从而大范围地将OTN引入服务提供商网络。在旧有技术仍有大量产品出货的时候（甚至譬如T1/E1产品），很难断定其已不具生命力，但是未来的传输网络从SONET/SDH到OTN的发展趋势却已清晰无疑。

Notice 声明

Exar公司保留对文中所述产品进行更改的权利，以便改善产品设计、性能、以及可靠性。Exar 公司对使用文中所述任何电路不承担责任，并未在任何专利或其它权利项下给予任何授权许可，且不承诺相关电路未构成专利侵权。文中所含图表仅供参考，可因具体用户应用而异。文中所含信息业经审查，但Exar 公司就其准确性不承担任何责任。

鉴于产品故障导致设备失灵或严重影响安全和效用，Exar 公司不建议将本产品应用于生命保障。除非公司收到下述书面保证，否则本产品不得在此类应用中使用：

(a) 相关伤害或损失风险已最小化；(b) 用户承担所有风险；(c) Exar公司在此类情况下免于承担潜在责任。

©2011 EXAR 公司版权所有

白皮书：2011年3月

未经Exar公司书面同意，不得整体或部分或复制本白皮书。