

基于 FPGA 的 100G 光传送网设计[图]

供应商、企业以及服务提供商认为 100G 系统最终会在市场上得到真正实施。推动其实施的主要力量是用户持续不断的宽带需求。各种标准组织正在制定传送网和以太网以及光接口 100G 标准。对于希望在标准发布之前，先期设计 100G 系统的开发人员而言，FPGA 由于自身的灵活性而发挥了非常重要的作用。Altera 的 StratixIVGTFFPGA 在 40-nm [技术节点](#)提供集成 11.3-Gbps 收发器，解决了 100G 传送网和 100G 以太网遇到的问题。这些 FPGA 是设计 100G 系统的理想平台，提供高性价比并且有助于产品迅速面市的解决方案。

引言

目前的网络载荷不断增大，供应商很难实施并管理他们的高级系统。为适应对带宽不断增长的需求，光传送网 (OTN) 成为下一代骨干网络。光纤迅速替代了铜线和其他介质，成为最快、最可靠的传输介质。

网络最重要的两方面是速度和可靠性。网络必须一直保持畅通，必须很快。然而，网络载荷一直在急速增长。数据是网络承载的一小部分[业务](#)。语音和多媒体现在是网络承载的主要[业务](#)。

如图 1 所示，从 2007 年到 2012 年，IP 总流量将增加 6 倍，几乎每两年就翻倍。2012 年之前，流量每年增长 522exabytes (1018，即 zettabyte 的一半)。这种指数增长的主要推动力量是清晰视频和高速宽带消费类应用。

满足宽带需求

最终用户不希望他们的网络服务出现任何中断。他们希望视频会议有流畅的画面和声音，就像电视和电话一样。OTN 是唯一能够支持 100G 以太网 (GbE) LANPHY 的骨干网传送层技术，是下一代以太网标准，也是满足速度和可靠性要求的唯一标准。

在出现新技术之前，OTN 将一直是主流标准，因为它速度最快，效率最高。OTN 支持非常高的传输速度，而且还能够灵活的扩容，以满足未来的需求。

任何形式的电子通信都包括数据包或者分组数据流、用户要发送的信息、传输介质，以及承载数据包所使用的传送方式等。传送速度越快，数据包到达越快。但是，问题出现在发送端和接收端，数据包到达太快，以至于来不及转发出去。因此，为提高效率，通信企业采用了 OTN。

100G OTN (OTU4) 简介

根据定义，由光传送设备承载的 100G 传送数据包能够迅速完成任何类型 100G 数据的传输，其封装格式是 OTN 或者以太网。总流量分布在城域、局域以及长途密集波分复用 (DWDM) 网络上。目前 ITU 组织研究的重点是利用现有 100G 以太网规范，IEEE802.3ba，在现有 40G 和 10G 基础设施上实现 100G OTN。

这能够满足越来越高的带宽需求，降低系统复杂度，减少了用于管理的波长，提高了频谱总效率，最终降低了成本。根据定义，目前实现的 100G 以太网覆盖距离比 100G 传送网要短一些，一般为 40km。100G 以太网和 100G 传送网有相似的目标，即，寻找以低成本实现高性能快速链接的方法。

OTN 含有的网络功能和协议要求能够满足这些需求，以系统方式在光介质上传输信息。本文重点介绍通过光纤承载传送网和以太网载荷。建立同步数字体系 (SDH) 等 OTN 机制也在这一范围之内，但是我们主要关注 LAN 到 WAN 的应用，特别是 40GbE 和 100GbE 应用 (802.3ba)。出于这一标准化以及工作规划的目的，所有 OTN 新功能以及相关技术都被认为是电信标准局 (ITU-T 标准) 的工作范畴。

根据 G.872 建议要求，OTN 包括由光纤链路连接的光网络单元 (图 1 所示)，能够提供光通道承载客户信号的传送、复用、路由、管理、控制和生存等功能。

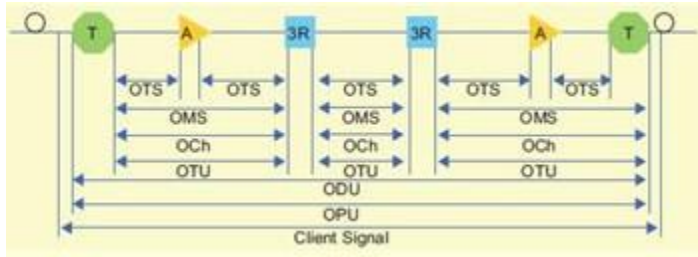


图 1 OTN 层和网络组成

OTN 一个独特的特性是它支持任何数字信号的传输，与具体客户业务无关(即，客户业务无关性)。根据 G. 805 建议对通用功能模型的描述，OTN 边界位于光通道/客户侧适配层之间，包括具体服务处理，不包括具体客户处理，如图 2 所示。

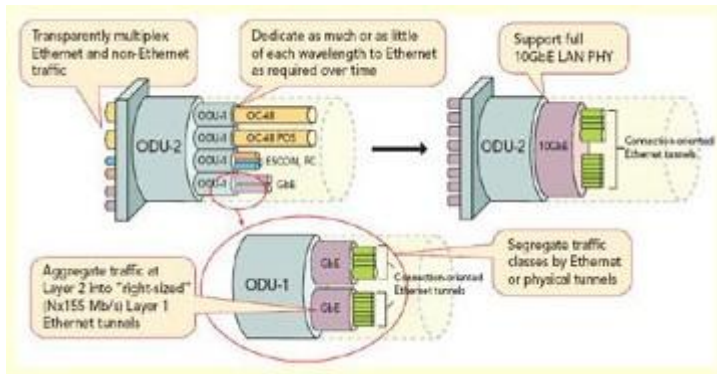


图 2 客户侧汇集的各种协议使得 OTN 成为高性价比通用基本结构

在光通道上实现这一灵活的客户应用系统时，FPGA 扮演了重要角色。从 OTN 实施的角度看，它汇集各种独立端口的数据，提供所需要的带宽。表 1 所示为当前 OTN 标准所支持的数据速率。OTU4 将增加 100G 的线路速率。

表 1 OTN 数据速率

G.709 接口	线路速率 (Gbps)	SONET/SDH速率	线路速率 (Gbps)
OTU1	2.666	OC-48/STM-16	2.488
OTU2	10.709	OC-192/STM-64	9.953
OTU3	43.018	OC-768/STM-256	39.813

传送网承载以太网帧

目前，以太网是专网和企业网络的主要 LAN 技术，公共传送网也支持新出现的多协议/多业务以太网。从 IEEE802 的一系列标准来看，ITU-T 和其他组织还在讨论公共以太网业务和帧传送标准及其实施协议。以太网的主要构成是业务层、网络层和物理层。

业务层

公共以太网业务层(对于业务供应商)包括不同的业务市场，拓扑选择以及持有模型等。所采用的持有模型以及使用的拓扑类型定义了公共以太网业务。

根据所支持的三类业务，对拓扑选择进行了分类，即线路业务、LAN 业务和接入业务。线路业务本质上是点对点的，包括以太网专用和虚拟线路等业务。LAN 业务本质上是多点对多点，包括虚拟 LAN 业务。接入业务本质上是分散式结构，支持一个 ISP/ASP 为多个客户提供服务。（从公共网络角度看，由于其相似性，线路和接入业务本来就是一样的）。

业务层提供不同的服务质量。SDH 等电路交换技术提供有保证的比特率，而 MPLS 等包交换技术提供各种服务质量，从尽力而为到有保证的比特率。可以在以太网 MAC 层以及以太网物理层提供以太网业务。

网络层

以太网网络层支持以太网业务端之间以太网 MAC 帧的端到端传输，由 MAC 地址区分业务端具体业务。以太网 MAC 层业务能够以线路、LAN 和接入业务的形式，通过 SDHVC 和 OTN ODU 等电路交换技术，或者 MPLS 和 RPR 等包交换技术来实现。对于以太网 LAN 业务，可以在公共传送网内部实现以太网 MAC 桥接，将 MAC 帧转发到正确的目的地址。以太网 MAC 业务不限于 IEEE 标准定义的物理数据速率（例如，10Mbps、100Mbps、1Gbps、10Gbps、100Gbps），因此，能够以任意比特率提供以太网 MAC 业务。

物理层

IEEE 为以太网定义了一组明确的物理层数据速率，并提供一组接口选择（电或者光）。以太网物理层在公共传送网上透明传输数据，使用透明 GFP 映射技术，将 10GbE WAN 等信号通过 OTN 传送，或者将 1GbE 信号通过 SDH 传送。以太网物理层业务是点对点的，总是采用标准数据速率。与以太网 MAC 层业务相比，它不够灵活，但是延时很低。

采用运营商级以太网标准支持 OTN

以太网最初虽然是设计用在 LAN 环境中，但现在已经广泛应用在骨干网和城域网（MAN）中。以太网在多方面进行了改进，包括更高的比特率和长距离接口、基于以太网的接入网、虚拟网络、更新能力、骨干网供应商桥接、可靠的保护技术、QoS 流量控制和流量调理等，因此，它能够作为网络运营商的承载网。此外，以太网很容易实现多点对多点链接，在现有点对点传送技术下，需要 $n \times (n-1) / 2$ 路链接。

如图 3 所示，运营商级以太网将以太网从 LAN 扩展到 WAN，尝试进入整个通信支撑系统中。其目的是为用户提供 WAN 技术将站点链接起来，其方式与运营商以前采用的 ATM、帧中继和 X.25 技术相似。运营商级以太网不是 LAN 采用的以太网，例如，客户在桌面以及服务器房间中使用的以太网。

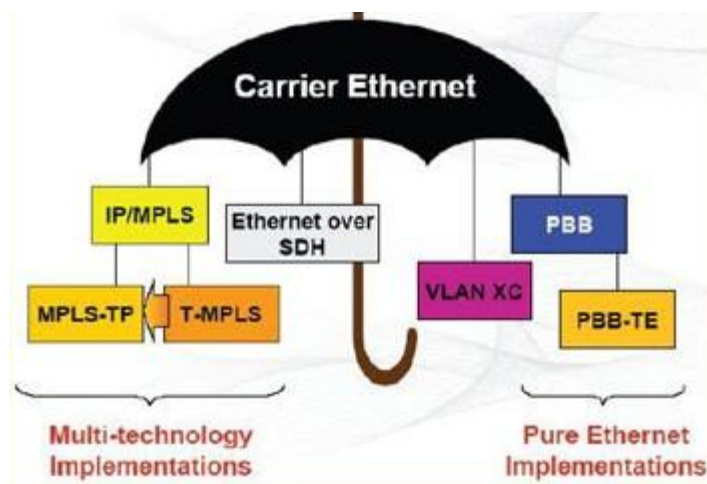


图 3 运营商级以太网多协议标签

不久前刚开始从以太网向运营商级以太网传送技术的过渡。目前为止，ITU-T 提供了构建基于以太网业务的运营商网络系统选择。ITU-T 建议由传送承载以太网（EoT），采用 PDH、SDH 或者 OTN 等传统的承载技术来进行传送。

采用 40G/100G 以太网体系结构来支持 OTN

IEEE802.3ba 是正在为 40Gbps 和 100Gbps 开发的标准。现阶段的目标是：

只支持全双工工作

保留使用 802.3MAC 标准的 802.3/以太网帧格式

保留当前 802.3 标准的最小和最大帧长度

MAC/PLS [业务](#)接口支持优于 10⁻¹² 的 BER

为 OTN 提供相应的支持

支持 40Gbps 的 MAC 数据速率

提供支持 40-Gbps 工作的物理层规范，包括：

在 SMF 上大于 10km

在 OM3MMF 上大于 100m

在铜缆上大于 10m

在背板上大于 1m

支持 100Gbps 的 MAC 数据速率

提供支持 100-Gbps 工作的物理层规范，包括：

在 SMF 上大于 40km

在 SMF 上大于 10km

在 OM3MMF 上大于 100m

在铜缆上大于 10m

如图 4 所示，该工程要在 2010 年中完成。业界对于 100G 的实施工作主要集中在传送网和以太网上。传送网和以太网标准在 100Gbps 速率等级上达成一致，这一过程从 10G 就开始了。



图 4 以太网和光传送网从 10Gbps 就开始了融合

StratixIVFPGA 为 100GbE OTN 设计铺平了道路

目前的业界发展趋势是使用 WDM 承载以太网进行数据包传送，通过 IP/MPLS/以太网传送数据。

Altera40-nmStratixIVFPGA 系列的定位非常适合满足 100G 以太网和传送系统设计的性能和系统带宽要求。

StratixIVGTFFPGA 密度非常高，集成了在单片器件中实现 100GbE/光纤通道/RPRMAC 功能使用的 11.3-Gbps 收发器，以及 OTN 数据包前向纠错 (FEC)、映射和成帧等关键处理功能。

100GbE 的 OTU-4 标准使用增强 FEC (EFEC)，必须采用专用算法进行设计才能确保最大限度的发挥光带宽优势。由于其优异的架构性能，StratixIVFPGA 能够处理 EFEC 功能，是 OTN 系统算法实现和测试的理想平台。图 5 显示了客户在设计 100GbEOTN 设备时怎样使用 StratixIVGTFFPGA 来实现上面介绍的所有功能。

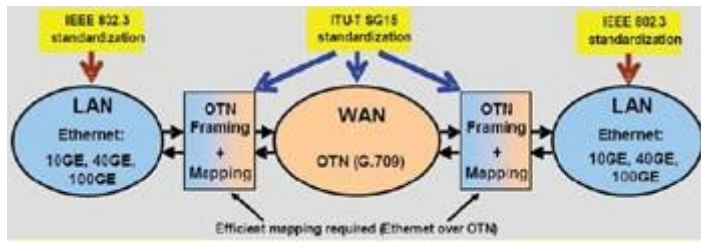


图 5 100G OTN 应用：LAN 到 WAN

OTN 以及对通用客户端口的需求

OTN 含有各种光网络单元，是高效传送业务的基础。独立的语音、视频、数据和存储网络演进构成公共骨干网，由 OTN 为其提供服务。OTN 设备必须能够将很多不同类型的业务(以太网、SONET/SDH、ESCON、光纤通道和视频)映射到这一公共骨干网中。

光设备生产商不断降低成本，采用跨平台元器件，因此，灵活映射各种客户侧端口的解决方案得到了应用。FPGA 是实现“通用客户侧端口”的主要元件，可以配置支持各种客户侧接口。这样，单片器件能够高效用于多种应用中。

为 OTN 提供灵活的支持

Altera 提供适用于 OTN 体系结构的全系列产品，如表 2 所示。

表 2 Altera 器件系列产品

OUT 类型	比特率	客户侧接口	芯片/模块接口	Altera 器件
OTU1	2.5 Gbps	GbE, OC-3/48, STM-1/16, Fibre Channel	OC-48	Arria II GX
OTU2	10 Gbps	10GbE WAN, 10GbE LAN, OC-48/192/STM-16/64 10G Fibre Channel	SFI-4.1, SFI-4.2	Arria II GX, Stratix IV GX, HardCopy IV
OTU3	40 Gbps	40GbE, OC-768/STM-256	SFI-5.1, SFI-5.2	Stratix IV GX, HardCopy IV, Stratix IV GT
OTU4	100 Gbps	40GbE, 100GbE	SFI-9, MLD	Stratix IV GT

随着应用的推广，OTN1 和 OTN2 对成本和功耗越来越敏感。如表 3 所示，含有嵌入式收发器的 Altera Arria IIGXFPGA 提供实现 OTN1 和 OTN2 波长转换器和交叉连接所需要的功能，具有很高的性价比和功效。

表 3 为 OTN 应用提供的 Altera Arria IIGX 收发器协议

	标准	以 Gbps 表示的数据速率
SGMII		1.25
GbE		1.25
10G Ethernet (XAUI)		3.125
SONET OC-3/OC-12/OC-48		0.155, 0.622, 2.488

相对于固定标准产品解决方案，灵活的 Arria IIGXFPGA 具有以下优点：

- (1) 支持新出现的映射技术，例如，用于将 GE 映射到 OTN 所需要的 ODU0 等。
- (2) 可以配置支持各种客户侧接口，采用同一器件实现多种应用。
- (3) 只需要重新配置 FPGA 就可以在同一器件中支持多种 FEC 和 EFEC 技术。

在单片 FPGA 中实现 40G 波长转换器设计

波长转换器(复用转发器)主要用于将多路低速客户侧信号汇集到高速波长上。它避免了为每一路客户侧低速信号分配独立的波长, 因此, 大大提高了 WDM 频谱效率。

业界分析师预测, 到 2013 年, 40G 光端口应用会急剧增长。40G OTN 设备越来越大的吞吐量迫切要求进一步改进 FEC 技术, 以便能够将信号传得更远。由于实现这些 EFEC 标准需要很大的逻辑容量, 因此, 在 40Gbps 速率时将通用客户端口、映射器、成帧器和 EFEC 集成到单片器件中难度很大。

然而, AlteraStratixIVGX 系列经过规划, 能够在单片器件中支持 40G 波长转换器功能, 如图 6 所示。StratixIVGXFPGA 支持各种数据、存储、TDM 和视频协议的高效实现, 包括 GbE、光纤通道(1G、2G、4G)、SONET(OC-N) 和 SDH(STM-N) 等, 为这些需求提供所需要的逻辑密度和架构性能。所有列出的协议由 Altera 直接提供支持或者通过合作伙伴提供支持。

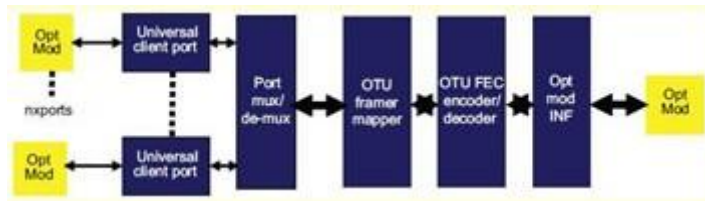


图 6 使用 StratixIVFPGA 实现波长转换器

StratixIVGX 系列提供 32 个具有时钟数据恢复(CDR)电路的收发器, 数据速率从 600Mbps 到 8.5Gbps, 以及带有 CDR 的另外 16 个收发器, 支持从 600Mbps 到 6.5Gbps 的数据速率。StratixIVGXFPGA 具有 530K 逻辑单元(LE), 能够支持 40G 全波长转换器应用。表 4 列出了为 OTN 数据速率提供的 StratixIVGX 收发器支持。

表 4 为 OTN 应用提供的 StratixIVGX 收发器协议数据速率

	协议	数据速率
OIF CEI-6G		4.976 Gbps-6.375 Gbps
Interlaken		3.125 Gbps-6.375 Gbps
10-GbE XAUI		3.125 Gbps
HiGig		3.75 Gbps
SFI-5		2.488 Gbps-3.125 Gbps
GbE		1.25 Gbps
SDH/SONET OC-12		622 Mbps
SDH/SONET OC-48		2.488 Gbps
Fibre Channel		1.0625 Gbps, 2.125 Gbps, 4.25 Gbps, 8.5 Gbps

采用 StratixIVGTFFPGA 进行 100G OTN 设计

最近制定标准的活动围绕 100G 光传送网 OTN-4 而进行。这些应用需要结合高速收发器和 10G 收发器来支持所需的吞吐量以及内核性能和逻辑密度, 以便实现管理 100G 数据流量所需要的复杂处理功能。StratixIVGTFFPGA 支持客户侧 10G 光接口的直接连接, 还可以直接连接至网络侧的 100GCFP 或者 QSFP 模块。这是非常重要的优点, 因为它避免了使用外部 PHY 器件, 大大降低了系统复杂度。表 5 列出了 StratixIVGTFFPGA 支持的协议。

表 5 为 OTN 应用提供的 StratixIVGT 收发器协议

	协议	数据速率 (每通路Gbps)
100G IEEE 802.3ba		10.3125
10G Fibre Channel		10.3125
10G IEEE 802.3ae		10.3125
40G IEEE 802.3ba		10.3125
OTN-2		9.9-11.3
OTN-2 G.709		10.7
OTN-3		9.9-11.3
OTN-4		9.9-11.3
OTN-4 MLD		9.9-11.3
SFI-S (includes SFI-5.2)		9.9-11.3
SONET/SDH OC192/STM-64		9.9-11.3

而且，器件支持绑定接口，例如芯片至模块和芯片至芯片连接的 MLD 和 SFI-S。因为 ITU 和 OIF 的标准还在不断发展，因此，设备生产商可以先开发早期版本的 OTN-4 波长转换器、转发器和再生器。图 7 显示了怎样采用 StratixIVGT 和 GX 器件实现 LANOTN 承载 100G 系统。

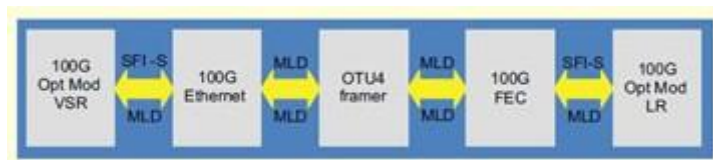


图 7 采用 StratixIVFPGA 实现 LANOTN 承载 100G 系统

结论

Altera 目前的 40-nmFPGA 系列产品结合其合作伙伴支撑系统，非常适合实现新出现的 100GOTU4 标准以及线路速率从 2.5Gbps (OTU1) 到 10Gbps (OTU4) 的传统 OTN 解决方案。AlteraFPGA 涵盖了光传送网的所有应用，例如 MSP、P-OTN 和运营商级以太网传送等。

在这一标准不断发展，出现 OTU4 等各种新协议的领域，需要 10G 数据速率以及高密度器件来实现完整的 100G 解决方案，AlteraStratixIV 器件是目前能够满足 100G 系统需求的唯一 FPGA。