

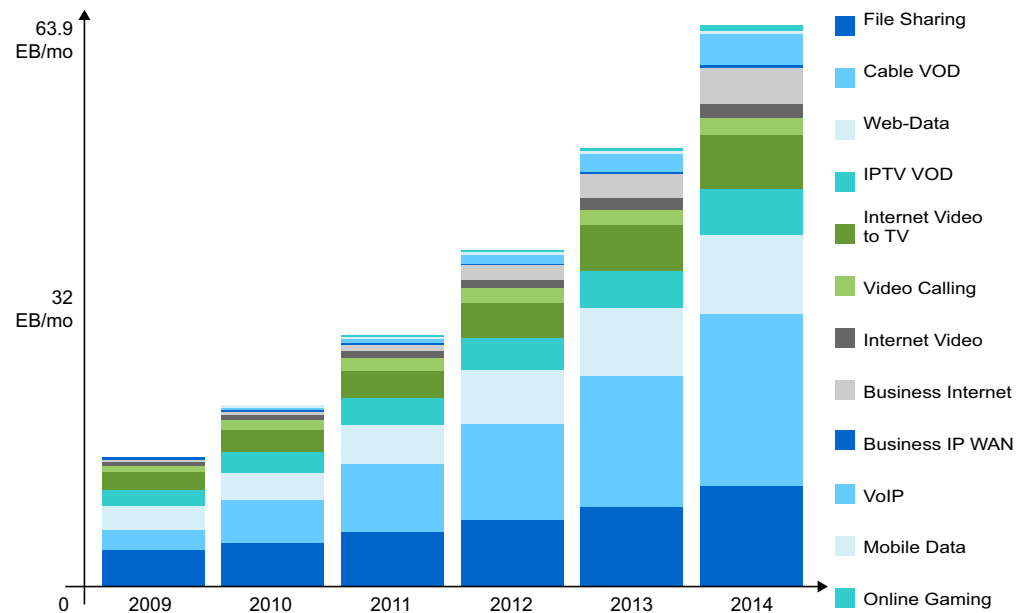
无源光网络 (PON) 技术具有灵活的高性价比体系结构, 满足了高清晰电视 (HDTV) 等高级应用不断增长的带宽需求, 因此而成为关键的接入技术。标准组织正在完善下一代 PON 需求, 进一步提高带宽, 提供多种业务支持, 延长传输距离, 增强分光比。这些标准还会有变化, 何时过渡到下一代 PON 系统还不明确。

FPGA 能够灵活的开发未来不会过时的设计, 与标准产品相比, 可以实现独特的功能, 在竞争中脱颖而出, 因此, 对于下一代 PON 系统的最先应用者而言, FPGA 扮演了非常重要的角色。Altera® Stratix® V FPGA 具有丰富的资源, 可靠的收发器能够自然支持 PON 突发模式, 还提供快速外部存储器接口, 前所未有的提高了系统集成度。Altera 还通过从 FPGA 到 HardCopy®系列 ASIC 的无缝移植降低了系统成本和功耗。

引言

随着大量高级多介质应用的发展, 对带宽的需求出现了迅猛增长。据思科视觉网络指数 2010 年 6 月预测 (1), 从 2009 年到 2014 年, 全球互联网协议总流量将增长四倍, 达到每月 63.9 艾字节 (EB), 即, 每年 766.8 EB (图 1)。

图 1. 全球互联网协议流量, 2009-2014 年



来源: Cisco VNI, 2010

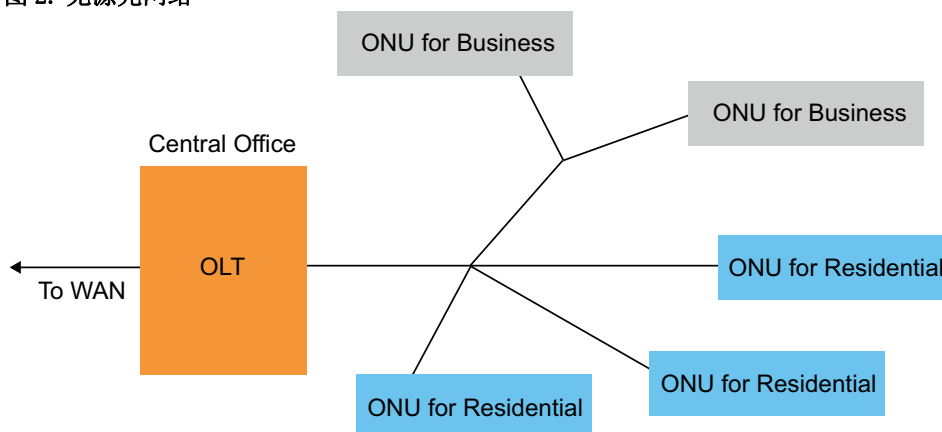
互联网视频流和下载已经占据了很大的带宽, 到 2014 年, 将会达到互联网全部流量的 60%。为支持这一不断增长的宽带需求, PON 技术能够灵活的适应更高的速率 (10 Gbps 及以上), 成为各种接入技术的最佳选择。

而且，采用了无源光单元和在多个用户间共享光纤的高性价比 PON 体系结构解决了业务提供商的资金和运营投入等问题。光纤到家庭 (FTTH) 网络的有源元件只是总成本的一小部分。在 PON 中，单根光纤可以支持多个用户，因此，这有助于降低光分配网络的实施成本。Verizon、NTT、中国电信和中国联通等运营商倾向于采用 PON 作为他们的主流接入技术。

PON 简介

PON 技术提供了功能强大的点对多点解决方案，满足了不断增长的带宽需求，同时减少了对通信基础设施接入部分的维护。PON 包括位于中心局的光线路单元 (OLT)，以及用户侧的多个光网络单元 (ONU)，如图 2 所示。

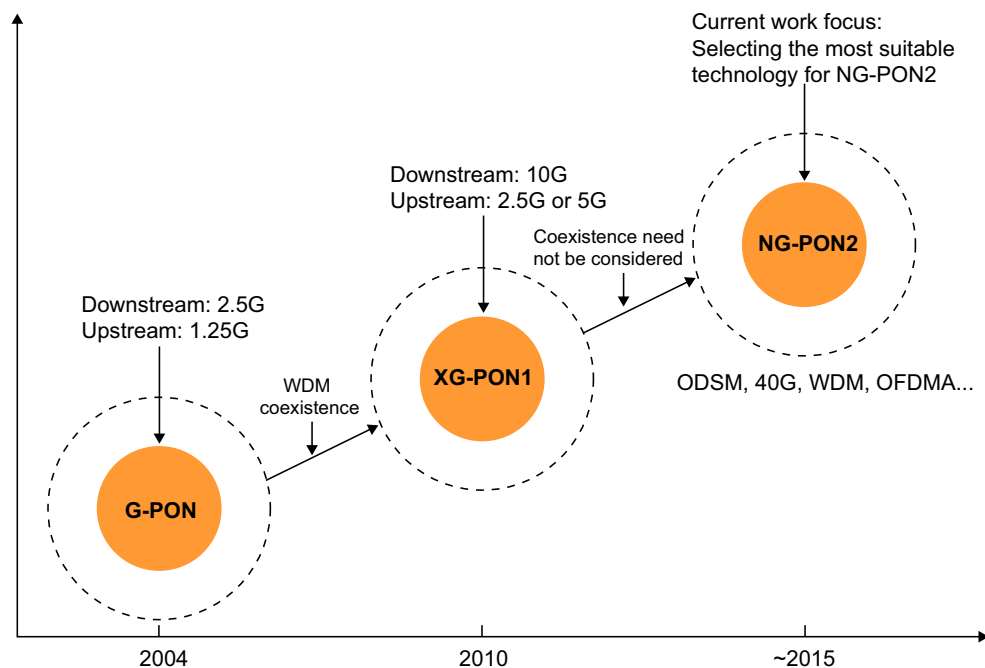
图 2. 无源光网络



国际电信联盟 (ITU) 以及电气和电子工程师协会 (IEEE) 这两家标准组织制定了各种 PON 标准。在 ITU 中，最早的版本是异步传输模式 (ATM) PON (APON) 标准，主要用于商业应用。然后是宽带 PON (BPON) 标准，它基于 APON 标准，进行了改进 (ITU-T G.983)，提供 622 Mbps 的下行带宽以及 155 Mbps 的上行带宽。BPON 标准主要由美国的 Verizon 公司来实施。今后的发展是 ITU-T G.984 (2)，即，千兆 PON (GPON) 标准，它于 2008 年 3 月得到批准。GPON 标准在总带宽和带宽效率上得到了提高，进一步增强了性能，下行带宽达到 2.488 Gbps，上行带宽达到 1.244 Gbps。GPON 标准被广泛应用于除日本以外的全球各个地区。

现在，下一代 GPON 标准 NG-PON 正在由 ITU 和全业务接入网 (FSAN) 工作组进行制定 (3)。如图 3 所示，下一代 GPON 技术包括两个阶段：XG-PON1 和 NG-PON2。XG-PON1 是现有 GPON 标准的发展，在同一光纤基础结构上与 GPON 同时存在。NG-PON2 是现有 GPON 标准的革命性变革，不需要在同一光纤基础结构上与 GPON 同时存在，因此，主要用于绿场应用。XG-PON1 为用户提供 10 Gbps 下行带宽和 2.5 Gbps 或者 5 Gbps 上行带宽。XG-PON1 标准 (ITU-T G.987) 于 2010 年 6 月获得通过，Verizon 公司已经和设备供应商进行了一些现场试验。现在还没有确定 NG-PON2 使用的 PON 技术，这也是 FSAN 目前的主要工作。预计 2015 年以后才会制定出 NG-PON2。

图 3. 下一代 PON 的发展路线



来源：FSAN

在 IEEE 中，于 2004 年完成了 IEEE 802.3 以太网 PON（EPON 或者 GPON）标准 (4)。它使用了标准以太网帧，上行和下行带宽均为 1 Gbps。EPON 标准主要被日本和中国的运营商所采用。下一代标准 10G-EPON 于 2009 年 9 月被批准为 IEEE 802.3av。它能够提供 10 Gbps 下行带宽以及 1 Gbps 或者 10 Gbps 上行带宽，支持在同一光纤基础结构上与 EPON 的同时存在。

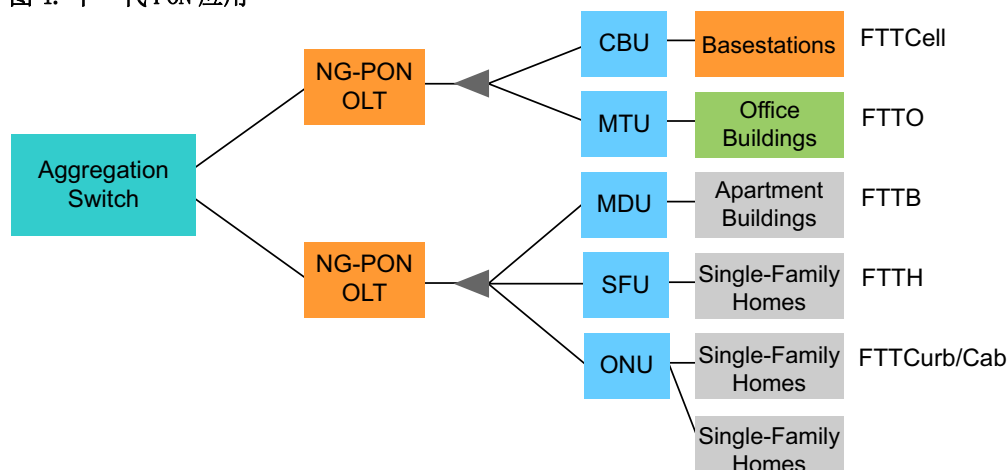
EPON 标准的重点在于保留以太网的体系结构模型。它保留了以太网帧格式，承载长度可变的数据包，而没有分片。GPON 标准基于 125 μ s 的固定帧，使用 GPON 封装方法 (GEM) 来完成数据包分片。与 GPON 相比，EPON 是相对简单的标准，对硬件和服务质量 (QoS) 的要求不高。GPON 和 EPON 标准的一些关键不同在于保护时间、开销和影响带宽利用率的一些其他参数。

采用光分支器将下行数据流从 OLT 广播至每一 ONU。每一 ONU 连续监听广播数据流，根据数据包地址信息提取出目的地址是其端口之一的数据包。出于安全原因，需要采用加密和解密功能。通过时分复用接入 (TDMA) 技术合并来自每一 ONU 的上行数据流，在同一共享光纤上将其发送至 OLT。OLT 为每一 ONU 分配一个时隙，在这个时隙中传送其上行数据。为避免来自不同 ONU 的上行突发数据传输出现冲突，在突发传输之间需要有保护时间。XG-PON1 标准对保护时间和时钟数据恢复 (CDR) 锁定时间的要求非常严格，需要元器件供应商提供 XG-PON1 突发模式兼容接收器，这是很大的挑战。目前的高性能 Stratix IV FPGA 收发器使用专用过采样方案，可以满足这一需求。下一代高性能 Stratix V FPGA 收发器能够自然支持 XG-PON1 和 10G-EPON 技术的突发模式。

下一代 PON 应用

下一代 PON 技术带宽更大，QoS 更高，而且还支持当前本地用户和商业用户的各种业务（传统的，例如，时分复用 (TDM) T1/E1 线路和传统老式电话业务 (POTS)，以及新出现的基于数据包的业务，例如，IPTV），该技术还可实现移动骨干网应用。图 4 所示为下一代 PON 技术的各种应用。

图 4. 下一代 PON 应用



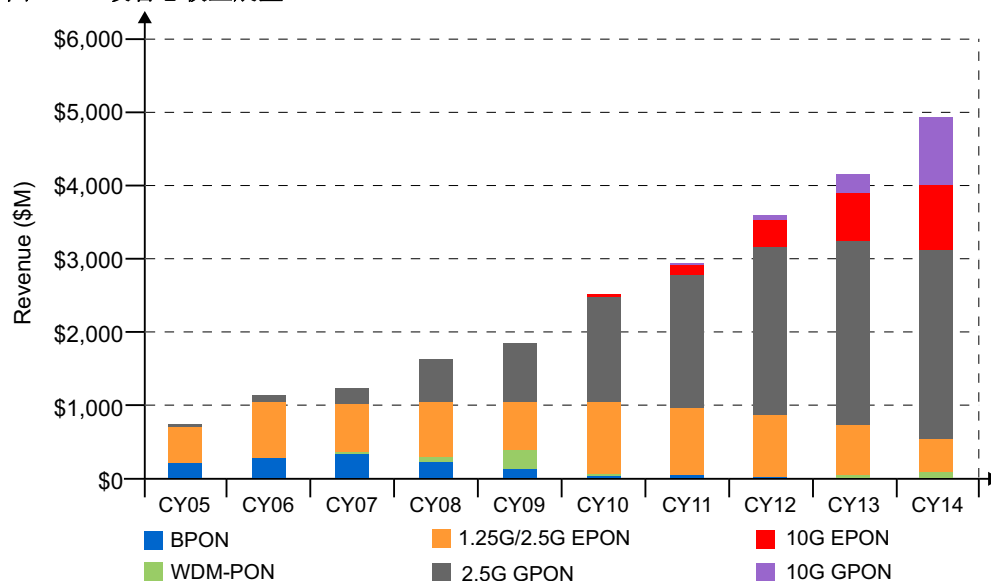
下一代 PON 技术将继续支持当前的 FTTH 体系结构，每一用户家中都有专用家庭单元 (SFU)，对于光纤到大楼 (FTTB)，大楼的每一房间共享集合住宅单元 (MDU)，而光纤到路边 / 分线箱 (FTTC) 的多个家庭通过铜缆连接至 ONU，光纤到办公室 (FTTO) 业务应用则通过多租户单元 (MTU) 来实现。此外，下一代 PON 技术通过小区骨干单元 (CUB) 到小区基站的连接，支持光纤到小区 (FTTCell) 骨干网应用。

除了支持 3G/4G 移动骨干网，还需要精确的频率、相位和时间同步功能。IEEE 1588 精确时间协议和 ITU 同步以太网 (SyncE) 标准规定了怎样通过基于数据包的以太网来提供精确时间和同步。Altera 第三方知识产权 (IP) 合作伙伴提供 IEEE 1588 和 SyncE 解决方案。各种应用中现有的和新出现的多种业务呈现出不同的 QoS 特性，因此，下一代 PON 系统需要更复杂的数据流管理机制。

PON 市场展望

如图 5 所示，PON 设备收益在今后几年会有很大的增长。2009 年至 2014 年，预计 PON 收益增长达到 22.5% CAGR；而下一代 10G PON 系统（特别是 10G GPON）在 2014 年之前不会有大幅度增长。预计下一代 PON 规范还会有修改，因此，10G PON 市场发展和需求还有不确定因素。为减小与这些不确定因素相关的风险，采用 Altera FPGA 来开发系统将是不错的选择，非常灵活的实现未来不会过时的产品，特别是，需求量远远低于 ONU 设备的 OLT 基础设备。随着下一代 PON 产量的逐步增加，标准日益成熟，HardCopy 系列 ASIC 将提供降低成本途径，大幅度缩短周转时间。

图 5. PON 设备总收益展望



来源: Infonetics

PON OLT 线路卡的关键功能

PON OLT 线路卡的主要功能可以分成四类：物理层、MAC 层、数据包处理和数据流管理。

物理层

物理层组件包括光收发器和突发模式 CDR SERDES。Stratix IV 和 Stratix V 系列 FPGA 集成了突发模式 CDR SERDES，可支持市场上的各种光收发器。Stratix IV GX 型号最多可提供运行速率高达 8.5 Gbps 的 48 个收发器，而 Stratix IV GT 型号提供 48 个 11.3 Gbps 收发器，Stratix V GX 型号提供 66 个 12.5 Gbps 收发器。在 FPGA 中集成突发模式 CDR SERDES 有助于降低材料 (BOM) 成本，减小电路板空间和功耗。例如，表 1 列出了 Stratix IV GT 型号的部分 10G-EPON 特性结果。Stratix IV GT FPGA 支持 10G-EPON 突发模式 CDR 规范 (<400 ns)，在可变时隙和运行长度上都有很好的余量。

表 1. Stratix IV GT 10G-EPON 特性数据

带隙突发	编码字运行长度	交流耦合电容值	CDR 锁定时间	正确比特的数量
7.76 ns	1	1 nF	267.64 ns	>10 ¹³
7.76 ns	80	1 nF	267.64 ns	>10 ¹³
1 ms	1	1 nF	267.64 ns	>10 ¹²
1 ms	80	1 nF	267.64 ns	>10 ¹²
15,000 ns	PRBS31	1 nF	267.64 ns	>10 ¹³
1500 ns	PRBS31	1 nF	267.64 ns	>10 ¹²

与 10G-EPON 标准相比，XG-PON1 标准在保护时间和 CDR 锁定时间上的要求更严格。使用专用过采样参考设计，Stratix IV GX 和 GT FPGA 收发器能够支持 XG-PON1 2.5-Gbps 上行突发模式要求。在下一代高性能 Stratix V FPGA 系列中，对接收器进行了改进，能够自然支持 XG-PON1 突发模式。

MAC 层

MAC 层功能主要包括成帧、介质接入控制、运行、管理和维护 (OAM)、动态带宽分配 (DBA)、前向纠错 (FEC)，以及安全功能。

对于成帧功能，EPON 标准基于以太网。在 EPON 中，PON 系统以其自然格式来承载以太网帧。业务全部映射到以太网上（直接，或者通过互联网协议）。另一方面，GPON 基于 125 μ s 的固定 GPON 传输汇聚 (GTC) 帧。帧分片功能用于将较大的 TDM 或者以太网帧划分成较小的片段，在接收器侧重新组合，对于较大的数据包，这有助于减小实时数据流和 TDM 数据流的延时变化。每一帧片段被封装到 GEM 帧中。然后，GEM 帧被进一步封装到 GTC 帧中，通过 PON 系统进行传送。

对于 EPON 和 GPON 标准，通过 TDMA 授权来进行介质访问。对于 EPON 标准，在 EPON MAC 层实现多点控制协议 (MPCP)，进行带宽分配、自动恢复处理和测距。每个 ONU 都有独特的逻辑链路标识符 (LLID)。每一 LLID 发送带宽授权，每一授权规定了 ONU 的上行传输时机。REPORT 和 GATE 是用于带宽分配的两个控制消息。对于 GPON 标准，下行帧头中的上行带宽映射 (BWmap) 区指示了每一 ONU 可以开始以及结束其上行传输的时间，因此，在任何时间只有一个 ONU 可以访问介质，以避免冲突。

OAM 是管理工具和实用程序，用于安装、监视并解决网络问题，帮助运营商更高效的运行网络。EPON 协议的 OAM 机制是 IEEE 802.3ah 标准的组成部分。GPON 协议有更复杂的 OAM 功能。在 GPON 中，有三种不同类型的控制消息：物理层 OAM (PLOAM)、嵌入式 OAM，以及 ONU 管理和控制接口 (OMCI)。PLOAM 在 GTC 帧中占有专用时隙，它处理 ONU 工作、加密配置以及报警提示等。嵌入式 OAM 利用了下行和上行帧中的开销区，实现时间敏感信息的通信，例如，带宽分配、安全交换、DBA 报告和链路 BER 监视等。通过 GEM 通道来承载 OMCI 消息，用于提供 Layer 2 之上的 ONU 业务定义层。

不采用外部 CPU 来处理控制和管理功能，而是通过 Altera Nios® II 嵌入式软核处理器将数据通路和控制功能集成到单片 FPGA 中，从而降低了系统成本，满足要求的性能 (300 MIPS 以上) 和灵活性，实现所需的 CPU、外设和存储器组合。为了进一步提高带宽利用率，应采用 DBA 算法。可以通过 Nios II 嵌入式软核处理器在软件中实现 DBA 算法，也可以采用 Altera 高性能 FPGA 架构在硬件中实现，具体取决于设计的性能要求。

PON 应用需要 FEC 来延伸 PON 设备支持的传输距离，并增强分光比，该技术使得链路接收器侧能够工作在较高的误码率下。在目前的 PON 系统中，FEC 是可选功能，随着误码率的增加，在下一代 PON 系统中则是必须的功能。千兆 EPON 协议使用基于帧的 Reed-Solomon RS(255, 239)，10G EPON 协议使用功能更强大的基于流的 RS(255, 223)。GPON 协议使用基于流的 RS(255, 239)，XG-PON1 协议使用两种不同系列的 FEC 代码，RS(25a, 22b, 32) 和 RS(25c, 23d, 16)，具体取决于光链路的传送方向和功耗预算。因此，最好能够灵活的实现 FEC，例如，Altera 可进行参数赋值的 Reed-Solomon FEC 参考设计，适用于所有这些不同的 PON 标准。

由于 OLT 通过同一根光纤向每一 ONU 广播下行数据流，因此，数据包在传输之前必须加密，以防止 ONU 之间窃取信息。PON 常用的加密标准是高级加密标准 (AES 128 位)。Altera 的 AES 参考设计能够支持 10-Gbps 加密和 2.5-Gbps/10-Gbps 解密功能。

数据包处理和数据流管理

为处理汇集的最终用户数据流，满足不同应用中不同运营商的各种 QoS 要求，例如，家庭、商业或者骨干网等，在每一 PON OLT 线路卡上实现了复杂数据包处理和数据流管理功能。Altera 多线程基于 RISC 的软核数据通路处理器与在 FPGA 架构中实现的硬件加速模块相结合，能够很好的完成 Layer 2 到 Layer 4 的数据包处理功能，这是分类、查找表、流量控制、滤波和数据包转发等接入平台所需要的功能。

业务提供商向每一用户提供差异化业务，以不断增强用户体验，越来越多的用户汇集到同一管道中，因此，要求每一用户实现服务等级协议 (SLA) 以保证公平的带宽分配，这一点非常重要。上行和下行数据流都需要灵活的数据流管理功能。Altera 提供全面的 40-Gbps 数据流管理解决方案，它包括 5 级调度 / 整形程序，支持加权公平队列 (WFQ)、队列管理器，以及支持加权随机早期探测 (WRED) 的拥塞控制模块，还提供高效的数据包存储器控制器。通过 5 级调度，这一解决方案帮助供应商实现了分级 QoS，它还能够灵活的进行动态队列配置和映射。

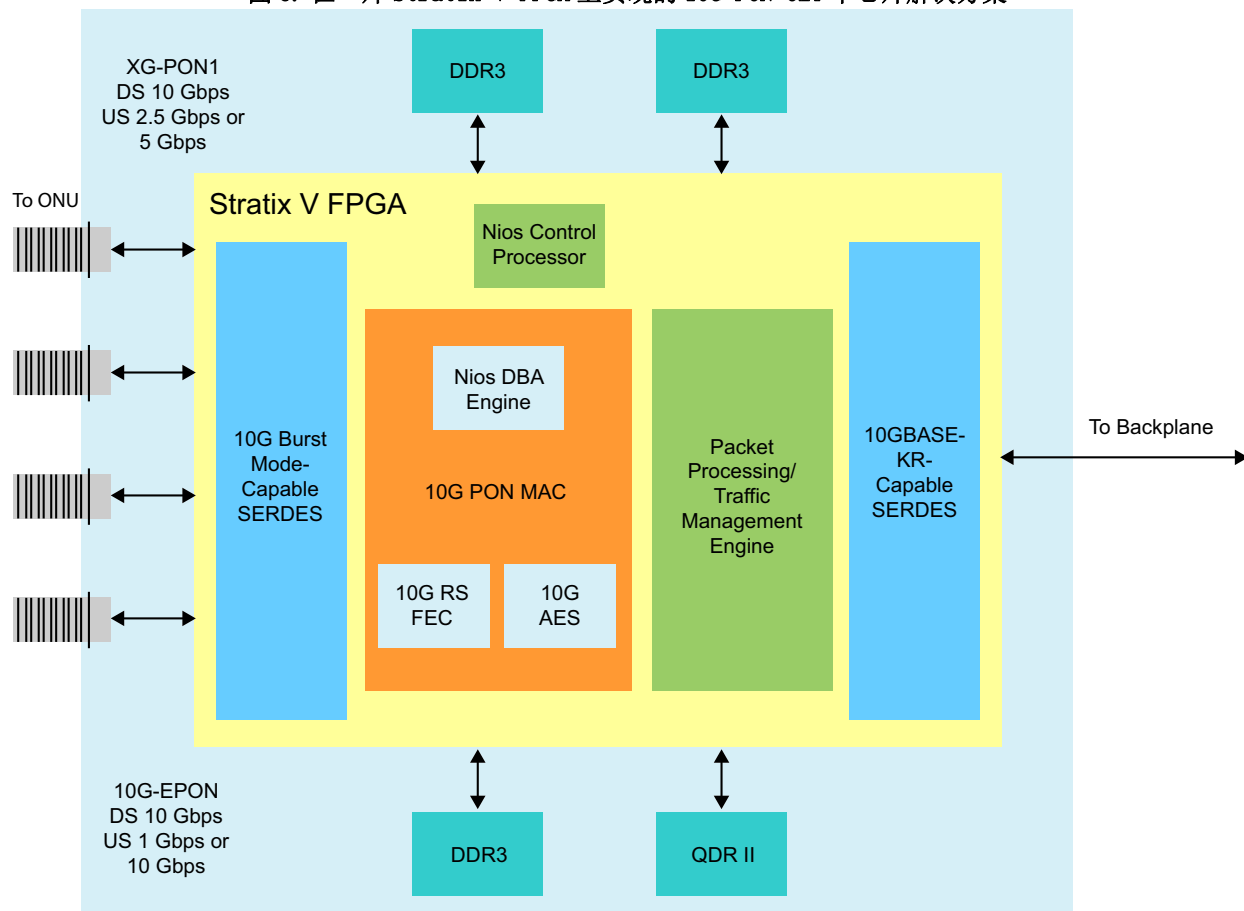
使用 Altera FPGA 来实现下一代 PON OLT 系统能够灵活的开发未来不会过时的产品，设计独特的功能在竞争中脱颖而出，而 Altera 提供有助于加速内部开发过程的构建模块 IP。

单芯片下一代 PON OLT 解决方案

在目前的网络中实施的大部分 PON OLT 系统采用了多种组件来实现所需的功能。随着运营商向下一代 PON 系统的发展，他们不仅仅是需要更大的带宽和更强的功能，而且还要求不断降低成本和功耗。

为解决这些挑战，28-nm Stratix V FPGA 系列前所未有的在一个器件中实现了系统集成。丰富的资源（一百万逻辑单元 (LE) 和 50 Mb 片内存储器），非常可靠的 12.5-Gbps 收发器，内置 XG-PON1 和 10G-EPON 突发模式以及 10GBase-KR 背板支持功能，高性能外部存储器接口 (800 MHz 的 7 x 72 DDR3 存储器接口)，所有这些特性相结合，为下一代 PON OLT 线路卡提供了单芯片解决方案。外部 PHY 器件、PON MAC 器件、数据包处理和数据流管理引擎以及架构接口芯片都可以集成到一片 Stratix V FPGA 中，如图 6 所示。这些功能有助于降低 BOM 成本，减小电路板面积，降低系统功耗。

图 6. 在一片 Stratix V FPGA 上实现的 10G PON OLT 单芯片解决方案



在低功耗方面，与前几代器件相比，Stratix V FPGA 通过以下关键工艺和体系结构创新技术，总功耗降低了 30%：

- TSMC 的高性能、高 K 金属栅极 28-nm 工艺技术，针对低功耗进行了优化。
- 0.85-V 内核供电电压。
- 可编程功耗技术自动降低设计中的静态功耗，同时保持关键时序通路的高性能不变。
- 时钟选通技术降低了动态功耗。

Stratix V FPGA 的另一关键创新是使用方便的部分重新配置功能。采用这一用户友好的精细粒度部分重新配置功能，设计人员很容易在其他部分运行时改变设计的内核功能。实际上，这在当前以及下一代 PON OLT 系统中实现了可编程解决方案，这是因为可以动态重新配置低速端口，当用户过渡到下一代 PON 时，可以实时支持更高的速率。

结论

随着对宽带需求的不断增长，PON 具有高性价比体系结构，能够灵活的适应更高的速率，成为主流接入技术。业务提供商成功的一个关键标准是采用可更新技术平台来支持更大的带宽和高密度业务，同时能够在今后的市场竞争或者规范框架下灵活的进行改进。由于下一代 PON 市场的不确定因素，标准很有可能需要进一步修改，因此，能够灵活的修改设计是关键的设计标准。

使用 FPGA 来实现下一代 PON OLT 设计的优势在于它能够增加独特的功能，在竞争中脱颖而出，当标准和市场还在发展过程中时，开发不会过时的产品，迅速进行修改以适应各个运营商的需求。Altera 28-nm Stratix V FPGA 帮助设计人员提高了系统集成度，同时降低了 BOM 总成本和功耗。当下一代 PON 设计趋于稳定，产量开始逐步增加时，移植到 Altera HardCopy 系列 ASIC 将有助于进一步降低成本和功耗，大幅度缩短周转时间。

详细信息

1. 思科视觉网络指数：
www.cisco.com
2. ITU-T G.984：
www.itu.int
3. FSAN 的下一代 PON 任务组：
<http://fsanweb.com>
4. IEEE 802.3 和 802.3av：
www.ieee802.org
5. “Next-Generation PON,” IEEE Communications Magazine, Volume 47, Issue 11, November 2009:
<http://ieeexplore.ieee.org/>
6. Stratix V FPGA: 为带宽而打造：
www.altera.com/products/devices/stratix-fpgas/stratix-v/stxv-index.jsp
7. HardCopy ASIC 系列简介：
www.altera.com/products/devices/hardcopy-asics/about/hrd-index.html

致谢

- Yuen-Yee Chu, 战略营销高级经理, 通信业务部, Altera 公司。

文档修订历史

表 2 列出了本文档的修订历史。

表 2. 文档修订历史

日期	版本	进行的修改
2012 年 5 月	1.2	■ 对文本进行了一些编辑。
2010 年 10 月	1.1	■ 进行了一些编辑。 ■ 更新了图 3 和图 6。
2010 年 10 月	1.0	初次发布。