

# EPON 测试仪硬件平台的设计与实现

基于以太网的无源光网络(EPON)是一种融合了以太网和无源光网络(PON)优点的接入网技术,具有容量大、成本低、对 IP 业务支持好、技术成熟和维护简单等优点,是未来实现 FTTx 的理想方案之一。目前 EPON 系统已在日本大规模应用,我国也有不少 EPON 系统投入商业应用。为使 EPON 能够低成本、大规模地成功应用,不仅要求不同厂商的 EPON 光线路终端(OLT)和光网络单元(ONU)设备能够互通,而且需要方便有效地在 EPON 网络开通前完成工程验收,以及在 EPON 网络运行过程中进行便捷的维护等。由于 EPON 点对多点的拓扑结构及其相应的上行时分多址接入(TDMA)方式,传统的网络测试设备都不能直接介入到 EPON 系统内部,只能通过 EPON 用户侧和网络侧接口进行相关测试,因此无法监测 EPON 内部运行状况,不能对会影响互通的 EPON 相关协议进行测试分析。为此我们设计开发了 EPON 测试仪,以帮助运营商进行 EPON 组网前的设备互通测试和组网后的工程验收和网络维护。

## 1、系统简介

EPON 采用单纤双向通信方式,为了观测 EPON 的内部运行情况,我们在 OLT 与光分配网络(ODN)主干光纤之间接入

X 型光耦合器,分出部分上行和下行光信号至 EPON 测试仪,以实现上下行链路的监视,如图 1 所示。

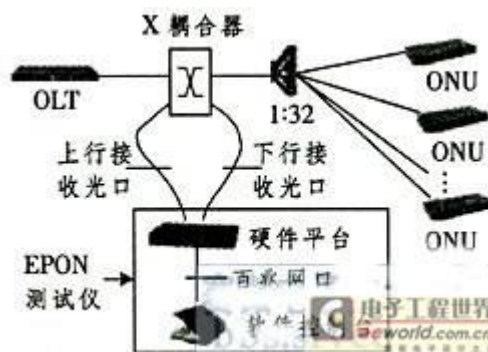


图 1 EPON 测试仪介入被测网络的方式

EPON 测试仪由硬件平台和配套的软件控制台两大部分组成,其中硬件平台负责 EPON 协议帧和相关数据的采集处理以及与软件控制台的通信,软件控制台负责 EPON 相关协议分析、提供用户界面和对硬件平台的配置管理等。本文着重阐述 EPON 测试仪硬件平台的设计与实现。

## 2、硬件平台功能需求分析

EPON 测试仪主要关注影响 EPON 互通和运维的 EPON 调和(RS)子层、多点 MAC 控制(MPCP)子层和运行管理维护(OAM)子层。其中 RS 子层定义了 EPON 的前导码格式,它在原以太网前导码的基础上引入了逻辑链路标识(LLID)区分 OLT 与各个 ONU 的逻辑连接,并增加了对前导码的 8 位循环冗余校验(CRC8); MPCP 子层负责 ONU 到 OLT 的注册、上行方向 TDMA

机制的运行等；OAM 子层则负责有关 EPON 网络运维的功能。EPON 参考模型如图 2 所示。



图 2 EPON 参考模型

EPON 测试仪的主要功能有两个：帮助发现影响互通的原因和方便 EPON 网络的管理维护。前一个功能主要是指它可以帮助分析 ONU 的注册过程是否符合标准、注册成功后上层 OAM 消息的交互和业务的互通是否存在问题等；后一个功能主要是指它可为网络维护人员提供在线 ONU 的基本信息和链路参数的统计数据，以方便运营者对网络的管理和故障定位。

根据 EPON 测试仪的功能要求和我们对 EPON 测试仪硬件平台和软件控制台的功能分割，确定 EPON 测试仪硬件平台功能需求如下：

(1)提取 ONU 注册过程所涉及的帧。

(2)按配置的过滤条件采集非注册过程 MPCP 帧和 OAM 帧。针对 EPON 的特点，过滤条件可为 LLID、帧的前 64 字节内用户自定义的 6 字节长关键字，或二者的“与/或”组合。考虑到协议帧流量、送往软件控制台前的封装开销、与控制台接口的速率限制和实现复杂度等因素，支持最多 64 个 LLID 过滤条件，和两组用户自定义关键字，关键字支持精确到比特的掩码配置。

(3)对采集到的 EPON 协议帧(MPCP/OAM 帧)打上本地时钟标签，并标明是来自 EPON 上行还是下行链路。

(4)EPON 前导码校验的差错率统计，支持统计使能和统计数据上报周期的配置。

(5)基于最多 256 个 LLID，对前导码正确的 EPON 帧的业务流量和帧校验序列(FCS)校验结果进行统计，支持统计使能和统计数据上报周期的配置。

(6)采集到的 EPON 协议帧和统计信息被封装到以太网帧后通过百兆以太网接口送软件控制台分析。

(7)硬件平台的配置内容由软件控制台通过百兆接口下达，配置内容包括 EPON 协议帧的过滤条件、链路统计项的使能和上报周期、EPON 协议帧和统计信息被封装到以太网帧时的源地址/目的地址/类型(DA/SA/type)字段等，硬件平台应支持向软件控制台返回配置确认帧。

### 3、硬件平台的设计实现

#### 3.1 硬件总体结构

EPON 测试仪硬件平台的组成如图 3 所示：

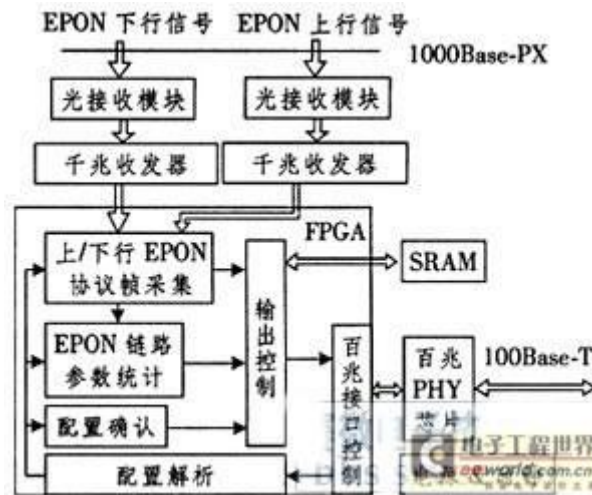


图 3 EPON 测试仪硬件平台框图

光接收模块采用符合 IEEE 802.3ah 规范中 1000Base-PX 光接口要求的 EPON 光收发模块，但只使用光接收部分。千兆以太网收发器芯片则采用商用芯片，它完成比特同步和串/并变换功能，然后将并行数据通过 10 比特接口(TBI)输出给 EPON 测试仪核心功能现场可编程门阵列(FPGA)来处理。

核心功能 FPGA 完成底层硬件平台的核心处理功能，包括 EPON 协议帧的采集、EPON 链路参数统计和用户配置等，综合考虑这些功能对 FPGA 的资源需求、可扩展性和低成本要求，我们选择的是 Altera 公司的 stratix 系列芯片。

百兆物理层(PHY)芯片采用的是 VT6108S，它实现核心功能 FPGA 与软件控制台的接口功能。由于核心功能 FPGA 采集数据的峰值速率可达千兆速率，而输出给控制台时仅为百兆速率，故使用一个外部静态存储器(SRAM)实现输出数据的缓存。

#### 3.2 核心功能的 FPGA 设计

##### 3.2.1 EPON 协议帧的采集

图 4 是上/下行协议帧采集框图。千兆收发器芯片通过 TBI 接口将 EPON 上/下行链路的数据送给核心功能 FPGA，FPGA 以异步先入先出(FIFO)方式将接收到的数据同步到 FPGA 内部的 125 MH

z 时钟，然后进行 8B/10B 解码，转换为千兆比特媒质无关接口(GMII)格式的数据并恢复出各帧。

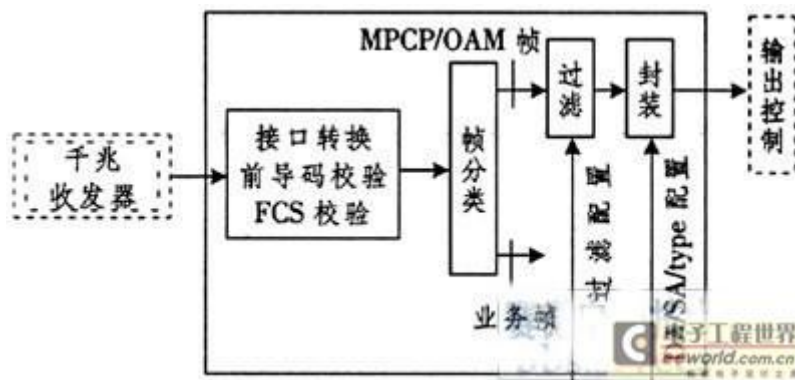


图 4 上/下行协议帧采集框图

经过 EPON 前导码校验和 FCS 校验后，错误的帧将被丢弃。由于 MPCP 帧的 type 域为 0x8808，OAM 帧的 type 域为 0x8809，帧分类模块据此筛选出 MPCP/OAM 帧送过滤模块。

过滤模块包括一个注册过程提取模块和一个用户自定义过滤模块。注册过程提取模块能够根据 LLID 和帧内 type/opcode 字段筛选出所有的注册过程帧，其余的帧送用户自定义过滤模块。用户自定义过滤模块支持按 LLID 过滤，或按用户自定义帧内字段过滤，或按两种过滤条件的“与/或”组合过滤，具体参数见硬件平台功能需求分析。

由于硬件平台与软件控制台的接口为百兆以太网口，故采集到的 EPON 协议帧(含 EPON 前导码)需要先封装到以太网帧再输出给软件控制台，封装时应尽量反映 EPON 协议帧的原始信息，如采集时间、来自 EPON 上行方向还是下行方向等，这些分别在 timestamp 域和 flag 域中标识，另外考虑到 EPON 帧封装到以太网帧后的长度可能会超过以太网的最大传输单元 (MTU)，长度大于 1 490 字节的 EPON 协议帧将被分为 2 段封装，有关分段的信息也包含在 flag 域。封装格式见图 5。其中在 subtype 域标明以太网帧的净荷部分为 EPON 协议帧。

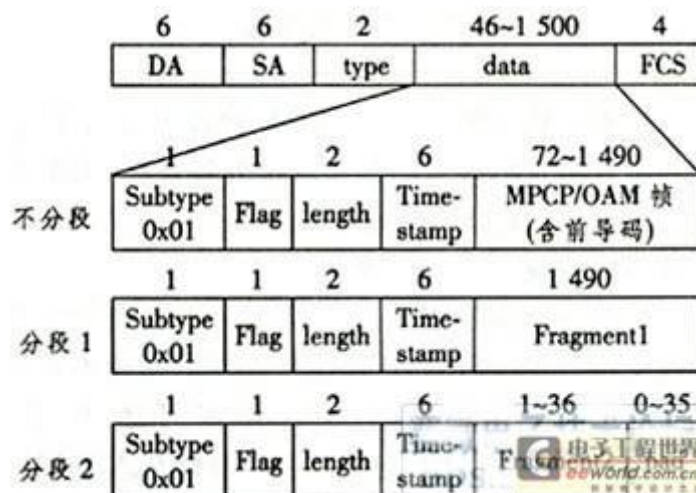


图 5 EPON 协议帧的封装

### 3.2.2 EPON 链路参数统计

我们对反映 EPON 链路性能最为关键的 3 类信息：EPON 前导码 CRC8 校验的差错率、各 LLID 对应帧的 FCS 校验差错率和各 LLID 对应的业务流量信息，进行了统计上报。

基于用户对几类统计数据关注程度不同，底层支持对各类统计的使能和上报周期控制，在上报周期到达时刻，统计信息将被打包输出。为了在数据输出时仍能进行统计，我们使用了两套统计模块，当一套需要输出统计信息时，则切换到另一套进行参数统计。

在 EPON 中，OAM 消息均以 TLV(Type Length Value)的格式承载，然后再被封装到 OAM 帧中的 data 域，这种格式使得 OAM 消息具有很好的扩展性。在此我们借鉴了 EPON OAM 帧的封装方式，统计数据将先被封装到一个 TLV 中，在 TLV 头部的 type 字段标明该 TLV 承载了哪类统计信息，通过 length 域标明该 TLV 的长度。在将 TLV 封装到以太网帧时，仍使用了 subtype 字段来标识该以太网帧的净荷部分为统计信息，flag 域预留，封装格式见图 6。

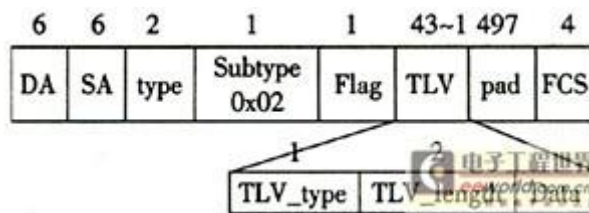


图 6 统计信息的封装格式

### 3.2.3 配置解析

来自软件控制台的各种配置消息由配置解析模块处理后，被送往相应模块。用户可配内容包括 EPON 协议帧的过滤条件、各链路统计项的使能和上报周期以及数据封装到以太网帧时的 DA/SA/type 字段等。

考虑到与软件控制台的通信线路可靠性，当配置解析模块收到一个没有误码的配置消息后，它将产生一个包含该配置消息号和配置生效时间的确认帧告知控制台，格式与统计帧类似。

### 3.2.4 输出控制

它将采集到的上下行 EPON 协议帧、统计信息帧和配置确认帧等几路数据调度到外部的 SRAM，然后控制它们输出到千兆口，这通过对外部 SRAM 的读写来实现。

外部存储器我们采用的是 pipelined 类型的零总线变换(ZBT)SRAM，其读写操作的切换不需要任何等待周期，因而总线利用率可达 100%。SRAM 的数据接口位宽为 36 bit，而待写入 SRAM 的各路数据位宽为 9 bit(8 bit 数据+1 bit 帧包络信息)，这样各路数据每 4 个时钟分别往 SRAM 写一次 36 bit 位宽数据即可实现线速存储。为此将 SRAM 划分为 3 个独立的存储区，并将读写时隙分配如下：第 1 个时钟周期可往 SRAM 的存储 1 区写 EPON 上行协议帧，第 2 个时钟周期可往 SRAM 的存储 2 区写 EPON 下行协议帧，第 3 个时钟周期可往 SRAM 的存储 3 区写统计信息帧和配置确认帧，第 4 个时钟周期可从 SRAM 读出数据，从某一块存储区读出完整一帧后即切换到读另一块存储区。

### 3.3 测试结果

我们在北京格林威尔科技发展有限公司的 EPON 系统上进行了实际测试。所研发的 EPON 测试仪能够提取 ONU 注册过程中涉及到的所有帧；当收到控制台配置的过滤条件时，它将向控制台返回一个确认消息，然后按照配置的过滤条件提取特定 MPCP/OAM 帧；可对几

类链路参数中的某一类或全部进行统计，并可独立配置各类统计数据的上报周期；所有送往控制台的数据均按设定格式封装到以太网帧。此外我们还对 EPON 测试仪硬件平台支持的参数进行了测试，测试结果表明，各项功能和性能指标均与设计要求相符。

## 4、结束语

本文说明了研究开发 EPON 测试仪的意义，简要描述了其功能结构，并着重阐述了其硬件平台的 FPGA 设计与实现。EPON 测试仪可以有效地帮助网络运营商进行设备互通测试、工程验收和网络运维等。