

E1 over EPON 的时钟同步技术

郭 巍¹, 陈 雪², 邓 羽¹, 盖鹏飞¹

(1. 北京格林威尔科技发展有限公司, 北京 100085; 2. 北京邮电大学, 北京 100876)

摘要:文章介绍了 E1 over 基于以太网的无源光网络(EPON)的关键技术中时钟同步的实现方法,通过对自适应法的研究和改进,优化了时钟输出抖动的指标,有效地保障了 EPON 系统的服务质量(QoS)指标。相对于时间标签法,自适应法在分组网络中进行时钟同步方面具有更广泛的适用空间。
关键词:基于以太网的无源光网络;时钟恢复;锁相环;数字锁相环
中图分类号: TN915 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005- 8788(2006)02- 0010- 03

Clock synchronization of E1 over EPON

GUO Wei¹, CHEN Xue², DENG Yu¹, GAI Peng-fei¹

(1. GW Technologies Co., Ltd., Beijing 100085, China;
2. Beijing University of Posts and Telecommucation, Beijing 100876, China)

Abstract: The present study mainly focuses on the realization of clock synchronization, a key technology of E1 over EPON. With an in-depth study of the adaptive method, this article has expounded on an improved way, in which the markers of clock output jitter have been optimized and the QoS of the EPON system effectively ensured. Compared with the time stamp method, the proposed adaptive method for clock synchronization is far more extensively applicable in packet networks.
Key words: EPON; clock recovery; PLL; DPLL

长期以来,电信业务和数据业务是在两种不同的网络上传输。如今,在同一传输平台上融合实时业务和数据业务已是大势所趋。而 IP 网络凭借其技术成本优势,已成为未来网络主体架构的首选。因此,将传统的时分复用(TDM)信号仿真到基于分组的网络中传输,一直是研究的热点。当基于以太网的无源光网络(EPON)用于大客户接入时,这类企业用户可能会需要 E1^[1] 专线或是要连接用户小交换机,EPON 提供 E1 的透明传输通道正好满足这种需求。与 VoIP(Voice over IP)相比,分组网络电路仿真业务将 E1/T1 等 TDM 信号直接适配到以太网帧中传输,可以在不升级用户终端设备的前提下,充分利用以太网的剩余带宽,具有更大灵活性。本文着重介绍在 E1 over EPON 中的时钟同步技术的实现。

1 电路仿真的基本原理

EPON 采用基于千兆以太网的点到多点的无源光网络(PON)的传输方式,提供多种业务。格林威尔公司和北京邮电大学研发的多业务—EPON (MS-EPON),在遵循 IEEE802. 3ah 标准的基础上,为了拓展 EPON 对 TDM 业务的支持能力,采用 E1 在 EPON 上的电路仿真技术,实现了对传统电路业

务简洁、高效的支持。

该方案中将单路 E1 信号作为仿真的对象。一路 E1 信号的仿真分为发送和接收两个部分,一条双向的 E1 链路由两套仿真实体组成。电路仿真的实现过程如下:输入的 E1 数据流经过三阶高密度双极性码(HDB3)解码模块的处理,分离出时钟和数据,并将数据写入发送缓存电路中。成帧发送模块在收到发送信号后,从 E1 数据的发送缓存电路中读取数据组成标准的以太网帧,然后从 PON 接口发出。对端收到 E1 数据帧以后,从中取出 E1 数据,写入 E1 接收缓存电路中。时钟同步模块基于对 E1 接收缓存电路的状态跟踪,恢复出与源端同步的时钟。利用这个时钟,从 E1 接收缓存电路中读出数据,经过 HDB3 编码模块的处理,向外发送到电路接口。

在上述实现方案中,时钟同步是保证业务质量的关键。在参考文献[2]中就提出了两种实现时钟同步的方法:时间标签法和自适应法。比较两种方法,我们可以发现:时间标签法是以光线路终端(OLT)的业务时钟为基准,定时向光网络单元(ONU)发送时钟标签,所有的 ONU 根据本地时钟生成时钟标签,与收到的时钟标签比较后调整本地的时钟分频比,以此达到与 OLT 同步的目的。时钟

收稿日期:2005—06—02
基金项目:国家“八六三计划”资助项目(2001AA122021,2004AA122320)
作者简介:郭巍(1976—),男,河北临漳人,助理工程师,学士,主要研究方向为光接入网产品的研究和开发。

标签法实现的关键是标签帧发送的定时要准,传输的时延抖动要小。自适应法本身并不需要在链路中传输有关时钟的信息,而是依靠接收数据缓存中实际数据量与理想值的偏差来跟踪时钟的频率。因此,在纯以太网的环境中,自适应法就显示出了更强的适应性。

2 自适应时钟恢复

自适应时钟恢复的方法是一种比较通用的时钟恢复方法,不需要精确的源时钟信息在网络中传输。这种方法基于传输的数据速率同样指示着源时钟的频率快慢的事实,从而在收端恢复出源时钟。我们正是在自适应时钟方法的基础上,通过优化设计的鉴相特性和环路滤波特性,实现了恢复源时钟频率和平滑时钟抖动的目的。自适应时钟恢复的实现框图如图 1 所示。

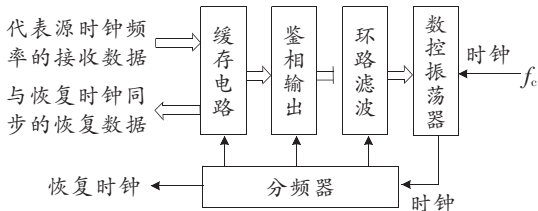


图 1 自适应时钟法的实现框图

自适应时钟恢复的实现基于数字锁相环的原理^[3]。代表源时钟频率的数据被写入缓存电路中,恢复的时钟从缓存电路中读出数据。缓存电路中数据量的变化趋势代表了两个时钟频率的相位差别。鉴相输出模块将这种差别量化,输出给环路滤波模块。

鉴相输出模块首先获得缓存电路中最大缓存量偏离参考点的差值,这个差值代表了输入和输出时钟之间的相位误差,然后将这一差值转化为数控振荡器的频偏控制量,这一控制量代表了输入频率与环路中心频率之间的瞬时频差。由于系统实现精度的限制,频偏控制量的取值范围不能太大,而最大频差的范围较大,线性的映射关系将造成频偏控制量取值范围的两端有较大的时钟输出抖动。因此,我们将鉴相特性设计为指数函数,使数控振荡器在进行时钟生成时有趋于一致的抖动特性。如果输入频率超出了锁相环路的频率跟踪范围,鉴相输出的频偏控制量会维持在一个最大值,将不能保证环路进入锁定状态。

在理想情况下,如果输入时钟保持稳定,在环路锁定以后,鉴相输出的结果也会稳定在某一数值。

但是,由于 EPON 本身的传输特性的影响,必然要在收到的 E1 帧上附加时延抖动。这些抖动都会反映在鉴相输出的结果上。如果不加限制,轻则将抖动传递到输出时钟上,重则使锁相环路无法锁定。因此,鉴相输出后一般要设置环路滤波器,经过滤波的鉴相结果再驱动数控振荡器产生需要的时钟频率。环路滤波器的实现方法多种多样,如算术平均值滤波法、滑动平均值滤波法、中值法等,本质上都是实现一个数字低通滤波器,限制在鉴相结果上累积的抖动。本方案综合采用了上述滤波方式,平滑鉴相输出的结果,并传递给数控振荡器。

数控振荡器的核心就是一个多模分频器,通过有规律的改变分频比,获得一个小数分频的频率输出。数控振荡器产生不同频率的办法是使用 $(n-1)$ 和 n 交替分频的方式, x 次的 $(n-1)$ 分频和 y 次的 n 分频交替进行,综合的结果是得到一个在 $(n-1)$ 和 n 之间的小数分频比。为了方便地得到正负两种偏差的时钟频率,一般使用 $(n-1)$ 、 n 和 $(n+1)$ 的三模分频器作为频率合成器。设计中通过产生加减脉冲来控制不同分频模值的使用。这种可编成分频器的优点是实现简单,可控频率范围宽;缺点是改变分频模值的时候,输出时钟相位会发生一次突变,相当于产生一次 $1/n$ UI 的时钟抖动。因此,这种模值的改变周期要尽量均匀,变化要尽量缓慢。

数控振荡器输出的时钟经过必要的分频电路,产生各个模块需要的定时信号,并将 E1 的读字节脉冲连接到缓存电路上,构成一个闭合的环路。

3 数据传输的带宽保证

承载 E1 数据流的以太网帧是否能在需要的时候获得足够的带宽,对收端的时延抖动有着至关重要的影响。在一个纯的以太网交换的环境中,传输带宽统计复用,数据的突发性强,每个数据报的时延不确定,对于恒比特率的业务影响很大。因此,恒比特率业务在通过统计复用的网络时,必须通过一定的手段(如设定 VLAN)保证带宽,控制时延抖动。从 ONU 到 OLT 的上行方向,和从 OLT 到 ONU 的下行方向,EPON 系统使用了不同的带宽分配策略来保证 E1 链路获得足够的带宽。

上行方向,EPON 采用动态带宽分配(DBA)机制。ONU 在每个 DBA 周期获得发送 E1 数据帧的带宽。E1 模块在获得发送带宽的时候才开始组帧,并尽量将发送缓存中的数据全部成帧发送。由于系统采用了准周期的 DBA 方案,所以 E1 帧的帧长是

可变的。EPON 系统设定了 DBA 周期的变化范围,也就限定了 E1 帧的帧长范围。E1 数据帧可变帧长方案的优势在于:按照使发送缓存中数据等待时间最短的原则控制帧长,可以有效地消除 DBA 周期变化给 E1 数据帧带来的时延抖动。因为 E1 仿真单元的收端在评估接收缓存中数据容量的时候,是以最大值作为依据的,而最大值的出现只能在收到一个 E1 数据帧之后,如果 DBA 周期突然变大,收到的 E1 帧帧长也跟着变大,在收到 E1 数据帧后的判别时刻,接收缓存中数据的最大值还能维持在原有水平,反之亦然。但是,该方案并不能消除在成帧之后由传输过程中引入的时延抖动。如果在传输过程中 E1 数据帧需要经过排队缓存的处理,排队等待时间的变化也是引入时延抖动的重要原因。

下行方向,EPON 的下行带宽管理并没有像上行一样需要特殊的机制。但是为了限制某一用户占用过大的带宽,也有速率限制的机制。同时,为了保证高优先级业务的质量(如 E1),有针对不同业务的优先级队列,从而保证高优先级的业务获得足够的带宽和时延保证。E1 模块下行方向数据帧的发送时刻由 OLT 本地的时钟控制,周期性地发出 E1 数据帧。所以,下行 E1 数据帧的时延抖动的引入主要在排队缓存上,EPON 系统严格控制了 E1 数据帧的传输延时变化,从而降低了输出时钟抖动平滑的难度。

4 测试结果

采用上述方案设计的 E1 子系统,在 EPON 系统下进行测试,测试过程中使用了如下配置的背景流量:

对于普通以太网接口:下行方向,从 OLT 的千兆以太网口组合出分给 4 个 ONU 的数据流,每个流的帧长随机,平均速率为 97.5 Mbit/s;上行方向,每个 ONU 的数据流设定为帧长随机,每帧间隔从 0.96~96 μ s 之间随机变化,平均速率为 55.5 Mbit/s。

对于以太网专线接口:上下行的数据流均为帧长随机,每帧间隔从 0.96~9.6 μ s 之间随机变化,平均速率为 91.5 Mbit/s。EPON 系统为每个以太网连接分配的带宽均为 100 Mbit/s。

测试结果(以下图示的数据均为测试过程中记录到的最差结果):在 LP+HP1 的条件下,输出抖动<0.2 UI,如图 2 所示。在 LP+HP2 的条件下,

输出抖动<0.05 UI,如图 3 所示。

输入抖动容限的测试结果如图 4 所示,高标准通过。抖动转移特性的测试结果如图 5 所示,在 HighQ 模板下测得,也是比较理想的。



图 2 输出抖动 LP+HP1 测试结果



图 3 输出抖动 LP+HP2 测试结果

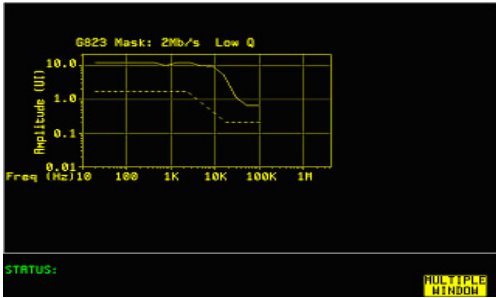


图 4 输入抖动容限测试结果

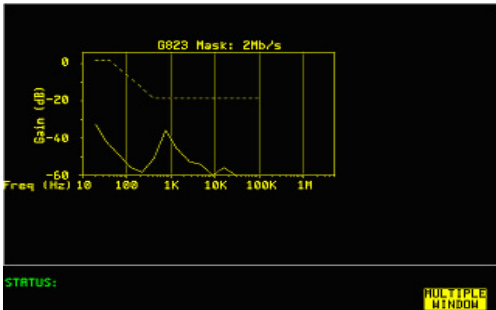


图 5 抖动转移特性测试结果

上述测试结果均满足 G. 823^[4] 的指标要求,即表明 E1 over EPON 方案完全实现了 E1 在 EPON 中的透明传输,能够提供电信级服务质量(QoS)的电路业务。基于数字锁相环的自适应时钟同步方法在性能上达到了设计要求。