

The Network Reliability in Industry Data Transports

ZENG Gang

School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha, China

Abstract: Ethernet ring and EPON are popular Ethernet access technologies. The Ethernet ring's performance of fault detection and service switch, QoS assurance, application environment is compared with EPON's performance. Ethernet ring has the advantage of self healing, which excels in comparison with traditional EPON. However, if we design a kind of software method that implements Layer-2 links rapid protection switch for EPON, both they can quickly switch in less than one second when faults are detected. When real time services are accessed, EPON improves time certainty performance because of using TDM in the up direction, therefore it has better mechanism of QoS assurance. At the same time, the topology of EPON suits all kinds of application environments better.

Keywords: ethernet ring; EPON; fault detection; service switch; QOS

工业数据传输中的网络可靠性

曾刚

中南大学信息科学与工程学院, 长沙, 中国, 410083

摘 要: 对比分析了以太环网和 EPON 在故障检测和业务切换、服务质量保证以及实际应用场景方面的性能。两者都可以通过软件实现亚秒级的业务保护倒换, 后者由于在上行通道引入时分复用而改善了时间确定性, 在服务质量保证方面具有更丰富的机制。同时, 相对于前者的环状网络拓扑, 后者树状的网络拓扑在接入业务时对各类地理环境的适应性更佳。

关键词: 以太环网; EPON; 故障检测; 业务切换; 服务质量

1 概述

现场数据通信的需求来自于工业控制自动化体系中的基础自动化和过程自动化。在工业控制自动化体系中的过程控制领域, 曾经采用过许多通信协议。因为 IP 协议在联网上的灵活和扩展性, 使得通过 IP 网访问控制系统甚至现场仪表, 实现远程诊断、维护和服务变得非常方便。而因为以太网逐渐成为通信终端之间主要的链路形式, 所以在自动化领域, 大量的仪表、控制器提供了以太端口。在工业以太网设备接入网的实现当中, 以太环网和无源光网有着各自适用的场景^[1]。

自愈环网作为提高接入网络生存性的技术已被广泛采用, 并且衍生出了多个种类, 如 SDH 自愈环网、弹性分组环网 RPR、以太环网等等。尤其以太环网, 在业务生存性设计方面实现了较高的性价比, 因此在许多现场级应用中广泛采用。较高的性价比体现在: 首先, 使用软件方式而不是专用芯片, 降低了成本; 其次, 切换速度达到了亚秒级, 一般在 500ms 内。目前以太环的种类繁多, 都可以实现自愈功能, 如传统通信设备商的 EAPS(Extreme)、MRP(Foundry)、RRP(北电)以及 RRPP(H3C)等; 工业以太网设备商如 Hirschmann、Siemens、Moxa 等的工业交换机产品也

提供以太环网的实现。然而, 在某些应用场合这种技术也存在局限性。首先, 这种技术在 MAC 层仍然使用了传统的以太网方式, 即在信道占用时使用载波侦听 / 冲突检测机制, 当信道上存在冲突时, 发送点需要随机退后 n 帧来重新发送。这种机制造成了拥塞的可能, 从而形成信息传送时间的不确定性, 而某些现场数据通信在时间确定性方面要求较高。其次, 环网拓扑结构在某些地理环境如矿井中, 设计、配置和维护管理复杂, 增加了总体成本。

EPON 作为以太接入网技术, 近年来广泛应用于电信接入网^[2]。除了可以实现快速的故障检测和业务切换, EPON 还具备丰富的 QoS 保证机制, 同时其网络拓扑对地理环境的适应性比环网更好。

2 以太环网方案

2.1 检测故障的速度

以太环网方案检测故障一般通过环状态检测报文。例如, 将环网上的一个节点设为主节点, 其他节点设为中间节点, 主节点接在环上的两个端口中, 周期性地从一个端口发送环状态检测报文, 如果在另一端上可以接收到该报文, 则认为环网状态正常。此时可阻塞另一端口以消除数据报文环路, 但状态检测

报文和环网协议报文仍可正常通过。若在一段时间内主节点接收不到自己发出的状态检测报文,则认为环网发生了故障。此时,主节点会打开原来阻塞的端口,使网上路保持畅通,并发送报文通知中间节点更新转发表,使得中间节点的转发数据流切换到正常的链路。除了主节点通过环状态检测报文发现故障,以太网一般还设计了主动故障通知机制。例如,当环上某个节点所直接相连的链路或节点出现故障时,会触发端口状态变化,此时该节点主动向主节点发送故障通知报文;主节点收到该报文后,判断环网发生了故障,打开从端口,同时并发送报文通知中间节点更新转发表,使得中间节点的转发数据流切换到正常的链路。当故障恢复时,故障节点或端口启动完全后,端口仍会临时阻塞,但可能透传环网协议报文,如主节点发送的环状态检测报文。当主节点从一个端口接收到自己另一端口发送的环状态检测报文,则认为环已恢复完整,此时即阻塞另一端口以消除数据报文环路,并发送报文通知其他节点打开临时阻塞端口并更新转发表,使得中间节点的转发数据流切换到正常的链路。因此状态检测报文的时间参数决定了故障检测速度。

2.2 业务切换速度

业务保护的实时性除了故障检测的速度,判断故障发生后业务切换的速度也是至关重要的。

环网节点的二层业务是根据目的 MAC 地址转发的,实现机制是以目的 MAC 地址为索引检查端口对应表。因此以太网中的正常路径出现故障时,要完成二层业务的切换,需要使旧的端口对应表失效,然后生成新的正确的端口对应表。旧表的失效和新表的生成,尤其是后者需要耗费一定的时间,直接影响了二层业务的切换速度。

完成以上机制可以采取两种办法:硬件实现和软件实现。前者指通过硬件机制使旧的端口对应表立即失效,同时开始学习生成新的端口对应表,速度相对较快。

环网节点的三层业务则以 IP 地址为索引转发。转发架构通常分为两种:一种是 FIB 转发表项包含路由+下一跳+ARP+端口;另一种是 FIB 转发表项包含路由+下一跳+ARP。第一种架构中,所有三层转发只需要查一次 FIB 表项即可查到出端口及其封装;第二种架构在三层转发时则需要两次查表:第一次查 FIB 表得到下一跳的封装,第二次查找 MAC 表得到出端口。当三层业务完成切换时,第一种架构只需更新 FIB 转发表;第二种架构则必须更新 FIB 表和 MAC 表,MAC 表的更新机制与二层业务切换机制中的 MAC 表的更新机制相同。总的来看,第一种架构在三层业务的切

换速度上更有优势。此外,触发三层业务切换的机制也会影响总的切换速度,例如由源节点主动请求下一跳 ARP 来更新 FIB 转发表,或者由远端通过免费 ARP 的机制通知其他节点更新 FIB 转发表。以上机制确保了以太网可以提供亚秒级的业务保护切换速度。

2.3 业务的服务质量保证

工业现场以太网可能接入的数据业务种类比较多。如数据的定时采集、报警、系统设置、控制信号,以及语音、视频监控信号等,不同业务消耗的带宽和时延要求各不相同,如各类控制业务属于低带宽、高实时性业务,而现场视频监控属于高带宽、高实时性业务。对于这些业务,以太网交换机一般使用设置优先级队列的方法进行区分服务。当中心机房交换机的吞吐量过高时,低优先级业务必然产生拥塞或丢包现象。同时,由于挂在环网上的各现场交换机接入的同类业务进入中心机房交换机的同一优先级队列,负载过大时必然产生不确定性,如时延的抖动,以及丢包概率的难以判定。与之相比,EPON 的上行方向采用 TDMA 接入,各接入单元(ONU)拥有确定的接入时隙,在时间确定性方面具备一定优势。

3 EPON方案

3.1 故障检测与业务切换

对 EPON 系统提供的保护措施分为四类:

(1) 只对工作主干光纤提供保护。(2) 除了对工作主干光纤提供保护外,还对 OLT 的 PON 模块提供冷备份。(3) OLT 的 PON 模块、ONU、分路器和工作光纤(包括主干和分支)都具有备份的结构,同时,OLT 的 PON 模块采用热备份方式,需要切换协议。(4) PON 环。现有的保护措施包括单纤 PON 环、全保护的单纤 PON 环、双纤 PON 环、全保护的双纤 PON 环等^[3-4]。

在 OLT 的 PON 端口和 ONU 之间实现二层链路快速保护切换机制,PON 端口和 ONU 之间通过状态检测报文发现光纤故障后实施业务切换。这种方案中,影响总体切换速度的因素包括:状态检测报文发送周期、ONU 切换到新 PON 模块的重新注册和时隙分配、光路切换引发的 PON 模块重新测距,以及相应 MAC 表、ARP 表的更新等,但是总的切换速度可以控制在亚秒级。

图 1 是一种 PON 模块、分光器或光路故障的保护方案。

3.2 业务服务质量保证

EPON 中,上下行业务使用不同的波长,下行业

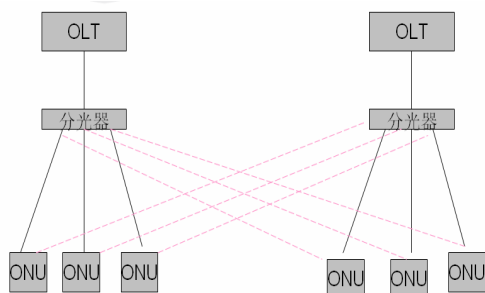


Figure 1. Rapid protection switching of layer-2 links
图 1. 二层链路快速保护切换

务采用广播方式，由 ONU 根据注册时分配的逻辑链路号接收；ONU 的上行业务采用时分多址接入（TDMA）方式。OLT 根据系统的配置给 ONU 分配相应的接入时隙，每一个基本时隙单位时间长度为 16ns。目前使用动态带宽分配算法 DBA 来确定各 ONU 的接入时隙比率，而 DBA 的实现方式尚不统一。如其中一种方案是基于轮询的带宽分配方案：ONU 实时地向 OLT 汇报当前的业务需求（如各类业务的在 ONU 的缓存量级），OLT 根据优先级和时延控制要求分配给 ONU 一个或多个时隙，各 ONU 在分配的时隙中按业务优先级算法发送数据帧^[5]。

与以太网方案相比，EPON 方案由于使用了 TDMA 机制，各 ONU 在固定时隙发送上行业务，因此业务中心汇聚点的拥塞概率将明显降低。尤其当现场业务包含视频监控时，其视频数据流向以上行为主，EPON 在服务质量和时间确定性方面的优势更为明显。

3.3 对地理环境的适应性

EPON 方案在网络拓扑设计上较环网更方便，尤其在某些特殊地理环境，如三维树状的矿井中。在图 2 所示的应用环境中，如果使用以太网进行覆盖，接入包括多个工作面在内的现场业务，那么使用一个环还是多个环、使用多个环时环与环之间的相交关系如何确定等设计和实施上的问题，加上配置和维护管理的复杂性都会加大应用难度。而采用 EPON 方案就不会存在这些问题。如果考虑到可靠性，可采用 3.1 中

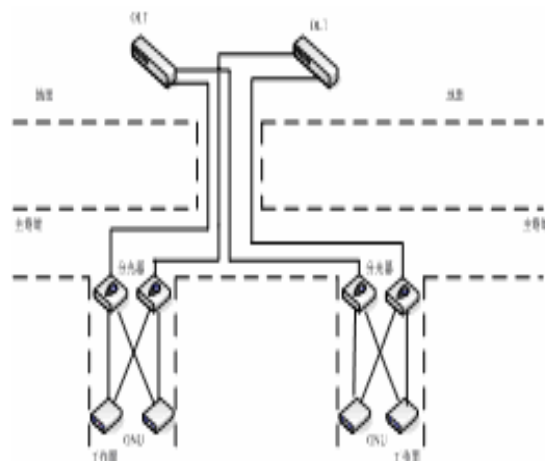


Figure 2. Services protected by EPON in the mine
图 2. 矿井内 EPON 的业务保护

的 PON 模块、分光器或光路故障的保护方案，如图 2 所示。

4 小结

本文在故障检测与业务切换、服务质量保证、以及地理环境适用性等方面对以太网和 EPON 在工业现场的应用进行了工程技术上的对比分析。两种方案均可实现亚秒级的故障检测和业务切换速度；EPON 方案由于采用了上下行波分设计、上行业务 TDMA 机制和 DBA 动态带宽分配算法，具有更丰富的服务质量保证手段；在某些现场地理环境中，EPON 的设计、实施、配置和维护更为方便。实际工程中，可根据性能要求、预算和实际应用场景来选择最佳的实施方案。

References (参考文献)

- [1] Miao Xueqing. Six kinds of real time Ethernet protocols, Zhong kong technology forum, No.1, 2005.
缪学勤. 论六种实时以太网的通信协议. 中控技术论坛. 2005 年第 1 期.
- [2] G. Kramer. Ethernet Passive Optical Network, McGraw Hill, 2004.
- [3] Edward E. Harstead, Louis Viktor Haze. Protection Scheme for single fiber bi-directional passive optical point-to-multipoint network architectures, Patent No: US 6,327,400B.
- [4] Liu Limin, Chen Xue. Survivability analysis of PON rings, Optical Communication Technologies, No.9, 2004(9).
刘丽敏, 陈雪. PON 环的生存性分析, 光通信技术, 2004(9).
- [5] Ethernet in the First Mile. IEEE Std 802.3ah, 2004.