

智能变电站专用通信设备的关键技术

汪强¹, 徐小兰², 葛光胜¹, 朱延章¹, 苏陆军²

(1. 许继昌南通信设备有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 针对智能变电站信息流的特点, 提出了一种基于 IEC61850 标准的专用智能通信设备的开发方案。分析了智能变电站目前采用的工业以太网交换机在经济成本和技术应用方面的情况, 探讨了未来智能变电站对通信设备的特有应用需求。专用通信设备摒弃了工业以太网技术使用的数据处理机制, 采用虚专线、层次化的 OAM、端到端的 QoS、精确时钟同步以及标准建模等技术, 优化了网络资源配置管理, 提高了通信设备的信息传输效率以及网络性能。

关键字: IEC61850; 智能变电站; 专用; 通信设备; 虚专线; 建模

Key technologies of special communication device in smart substation

WANG Qiang¹, XU Xiao-lan², GE Guang-sheng¹, ZHU Yan-zhang¹, SU Lu-jun²

(1. XJ Changnan Communication Equipment Co., Ltd, Xuchang 461000, China; 2. XJ Electric Co., Ltd, Xuchang 461000, China)

Abstract: In view of the characteristics of information flow in smart substation, a development scheme of special smart communication device based on IEC61850 is proposed. This paper analyzes the economic costs and technical application of industrial Ethernet switch in smart substation, and explores the special application requirement for communication device of smart substation in future. Special communication device abandons the mechanism of data process for industrial Ethernet technology, adopts several technology such as virtual private wire, hierarchical OAM, end-to-end QoS, precise clock synchronization and standard modeling, optimizes network resource configuration management, and improves the information transmission efficiency of communication device and network performance.

Key words: IEC61850; smart substation; special; communication device; virtual private wire; modeling

中图分类号: TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)07-0150-04

0 引言

智能变电站是建设智能电网的重要基础和支撑^[1]。智能变电站采用 IEC61850 标准作为整个站的通信及建模依据, 并通过以太网实现 SV、GOOSE、MMS 等报文的高效传送, 通信网络成为站内数据传输的重要保障^[2-5]。

在智能变电站中, 通信设备不仅承担数据传输和信息交互的重担, 而且还将充当时钟同步的角色^[5-8]。然而, 智能变电站的工业以太网交换机价格昂贵, 据统计, 国内已经投运的智能变电站中其成本与整个站的二次设备成本相当; 而且其不能对站内的报文进行分析与管理, 也不能对故障进行预警与定位, 必须配备相应的报文分析工具和录波装置, 增加了变电站的建设成本。到目前为止, 没有文献报道有制造商或科研院所针对智能变电站开发专用的通信设备。着眼即将大规模建设的智能变电站,

探寻一种经济实用且满足智能变电站应用的专用通信解决方案, 值得研究。

智能变电站的通信设备对于站内保护、测控等功能的可靠实现具有非常重要的意义。本文分析了智能变电站现有通信方式的应用情况, 探讨了未来智能变电站对通信设备的需求, 针对变电站信息流的特点, 提出了一种崭新的电力专用智能通信设备的开发方案, 较详细介绍了专用设备采用的几种关键技术。

1 智能变电站数据流及其传输的特点

智能变电站现行采用“三层两网”模式, 主要数据报文有 MMS、GOOSE、SV 和 PTP 等几类。

SV 报文采用发布者/订阅者模式, 使用组播方式发送, 用于过程层和间隔层间设备的单向采样值传输。其特点: 数据量大; 报文长度固定, 占用网络资源固定, 并由采样频率确定; 有很高的实时性

和同步要求,报文的传输时间要求小于 2 ms,离散度偏差要求在 10 μs 以内^[9]。

GOOSE 报文采用发布者/订阅者模式,使用组播方式发送,主要包括间隔层之间的闭锁信号和间隔层与过程层间的位置信号、状态信号和控制信号等。其特点:数据量较小;报文长度较短,网络负载较小;有很高的可靠性和实时性要求,保护跳闸报文的传输时间要求小于 2 ms,保护闭锁报文传输时间要求在 2~10 ms;故障状态时,报文有较大的突发性。

MMS 报文基于客户/服务器模式,主要分布在站控层设备之间和站控层与间隔层设备之间,可以通过 MMS 报文把变电站的信息上送到调度中心,其特点:数据量中等,实时性要求不高。

PTP 报文用于传输时间同步信息,提供亚微秒时间精度,占用网络资源少。

2 智能变电站现有通信设备应用情况分析

目前,智能变电站内普遍使用工业以太网交换机来组建通信网络,实现数据的共享和传输,但是在满足站内保护、测控等业务的要求上还有待完善,主要表现为:

(1)受工业以太网交换机可靠性、延时不确定性和传输实时性的影响,无法满足保护数据网络化的要求,目前智能变电站保护装置采用点对点直采直跳模式^[9]。

(2)工业以太网交换机的管理维护手段简单(主要通过 SNMP 和 RMON),不具备状态检测功能;不能与站内监控系统融为一体;不能精确描述报文的延时、抖动、丢包等情况和有效控制重要报文的传输。由其组建的通信网络对用户来说类似“黑匣子”,用户不知道里面的通信工况。

(3)IEC61850 没有对工业以太网交换机进行信息建模^[2],导致交换机信息以及承载的网络工况不能有效地集成到变电站自动系统中,无法与站内的各种 IED 直接交互,不是真正的电力二次设备。

(4)工业以太网交换机的信息安全措施不完备(主要采用 VLAN、组播、端口地址绑定等软件协议技术,容易遭受恶意攻击)。而且目前绝大多数的智能变电站采用从国外进口的交换机,从安全运行的角度考虑存在一定的隐患。

3 智能变电站对通信设备的新要求

通过与电力行业有关专家的交流,加上我们对智能电网及智能变电站的理解,认为:伴随网络通信技术和变电站关键技术的发展,智能变电站对通

信设备除了有可靠性、实时性、安全性等要求,还需要具有电力特色的应用需求。

(1)专用化。通信设备只能传输电力数据,屏蔽非专业数据,提高设备的安全性;针对站内报文流向、实时性和占有带宽等特点,采用专用传输通道,提高设备性能和网络效率。

(2)智能化。通信设备能够监视站内报文的延时、抖动、丢失和破损等情况;能够实现对异常报文及流量的识别与控制,进行故障定位和有效隔离;可以对自身的参数、运行情况、端口状态和数据流量等信息进行检测。

(3)高效化。通信设备可以解析二次设备的配置文件,获取二次虚接线信息,自动生成专用通道,实现报文在设备内的面向连接的高效传输,既能保证设备的高可靠性和实时性,同时提高设备工作效率,节省工程配置时间。

(4)模型标准化。通信设备能够按照 IEC61850 标准进行 IED 化,支持在 IEC61850 层面上的通信信息的提供。

4 智能变电站专用通信设备

在智能变电站中,通信网络是其“神经中枢”,连接站内多种 IED 并传输相关站内信息,通信设备作为智能变电站二次系统的关键设备,其性能的好坏直接决定了智能变电站的可靠稳定运行。针对智能变电站信息流特点,遵循 IEC61850 标准,研发了一款电力专用智能通信设备,摒弃了工业以太网交换机采用的数据处理机制,采用虚专线、层次化的 OAM、端到端的 QoS、精确时钟同步以及标准建模等技术。专用通信设备通过虚专线实现数据的可靠传输,很容易解析网络中每条报文的对应关系,根据网络中报文的种类以及流量,为其分配恰当的带宽,并指定优先级,不仅优化了设备的资源管理,也提高了设备的信息传输效率以及网络性能。

4.1 虚专线技术

专用通信设备采用虚专线技术。虚专线是一种端到端的二层以太网业务承载技术,属于点对点方式的 L2VPN。虚专线逻辑上的协议分层模型如图 1。净荷在封装层上传输。封装层不但携带有与净荷有关的信息,而且也带有在接口处专线需要的信息。专线复用层提供将多根专线集结在一起的能力,并为每个专线分配一个唯一的标识,以便不同业务的传送。业务汇聚层将多种业务汇聚在一起,方便专线的分配。



图 1 虚专线协议分层模型

Fig. 1 Virtual private wire protocol layer model

虚专线是一种柔性的管道（如图 2），它有两种带宽，一种是保证带宽，业务流正常通信时需要的带宽；一种是峰值带宽，业务流在遇到突发情况下能保障正常通信的带宽。一条虚专线代表一种传输业务，通过虚专线实现端口带宽的统计复用，从而提高带宽的有效利用率。

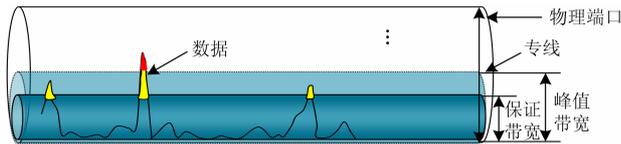


图 2 虚专线带宽分配示意图

Fig. 2 Virtual private wire bandwidth distribution

虚专线能够实现面向连接的通信，提高设备的可靠性和实时性，同时也是一种类似 SDH 的底层物理隔离技术，保障了设备数据的安全传输。

4.2 层次化的 OAM 技术

专用通信设备的 OAM(Operation、Administra-

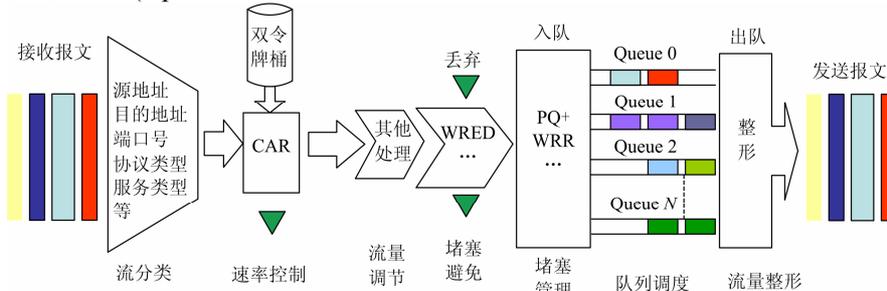


图 4 QoS 机制

Fig. 4 Framework of QoS

流分类：根据不同的业务传输要求，对数据流进行分类。

流量监控：对不同业务流进行速率限制，实现对每个业务流带宽的有效控制，采用双速率三色标记（RFC2698）算法。

流量整形：采取措施避免业务流的突发性，让其以均匀的速率传输。

队列调度（拥塞管理）：当到达设备接口的速

率大于接口的发送速率时，就有堵塞发生，必须采用 FIFO、PQ、WFQ 等措施来进行处理。

拥塞避免：用来检测网络负载，避免拥塞的发生，通过丢包技术来实现。

专用通信设备能为不同服务质量的业务划分不同的优先级（支持 8 个优先级），并为其分配合适的带宽资源，避免网络的拥塞，提高服务质量以及传输实时性。

tion、Maintenance)功能实现模块如图 3 所示。筛选模块从数据缓存中提取报文，并将正确的 OAM 标识报文送往查找模块，查找模块根据特定的快速算法找到匹配的报文信息，在控制信息的作用下，将查找到的信息送往报文逻辑处理模块，进行报文处理。OAM 帧重组模块根据寄存器里的 OAM 相关使能信号和相应发送内容进行组帧，并将重组帧发送到数据缓存中。OAM 发送、接收报文都是在控制模块的作用下完成。

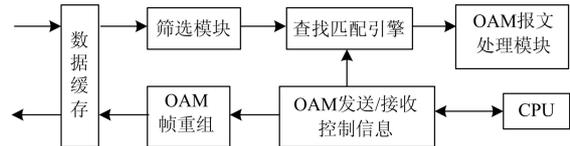


图 3 OAM 功能实现示意图

Fig. 3 OAM function implementation

专用通信设备的 OAM 功能支持对网络及业务进行分层管理，使网络中每一个层面的传送实体都能执行网络故障检测、定位和通知、网络性能在线测量和上报等功能，知晓该层收发信息的完整性和通道情况，并对不同的管理要求，提供不同的发送频率，提高了网络管理的效率。

4.3 端到端的 QoS 机制

专用通信设备采用了端到端的 QoS 机制，包括流量分类、流量管理、优先级标记、流量整形、队列调度和拥塞控制等，如图 4 所示。端到端的 QoS 提供了对多种业务的实时可靠传输能力。

4.4 时间同步技术

专用通信设备采用 IEEE1588v2 和同步以太网技术实现网络中的时间同步和频率同步^[10]。IEEE1588v2 实现原理如图 5 所示。时钟源采用 GPS 和北斗双授时系统, 为网络提供精确秒脉冲信息, 在设备不作为主时钟时, 可以不加载时钟源模块, 由高精度晶振提供守时功能。CPU 用以处理时钟调度策略, 给进出设备的各类报文提供优先等级划分, 为同步报文的延时确定性提供保障。FPGA 功能模块由时间戳功能模块、PTP 协议处理模块以及时钟处理模块等组成, 主要实现 PHY 层时间戳的插入和提取。专用通信设备的时间精度小于 ± 100 ns, 满足智能变电站要求的小于 ± 200 ns^[9]。

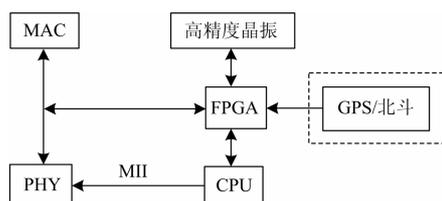


图 5 IEEE1588 时钟硬件电路框图

Fig. 5 Hardware circuit of IEEE1588

4.5 IEC61850 IED 建模 (应用感知)

按照 IEC61850 标准面向对象的思想 and 建模规范对专用通信设备的数据信息进行建模, 如图 6 所示, 统一描述设备的状态信息和配置信息, 将专用通信设备作为一款独立的变电站二次智能电子设备 (IED) 进行性能监视、配置和管理。这样专用通信设备就能解析 IEC61850 协议, 直接与保护、测控等装置交流, 提供保护和自动化算法所需要的关键通信信息, 如 GOOSE 指令的丢失、测控信息传送的时间等。

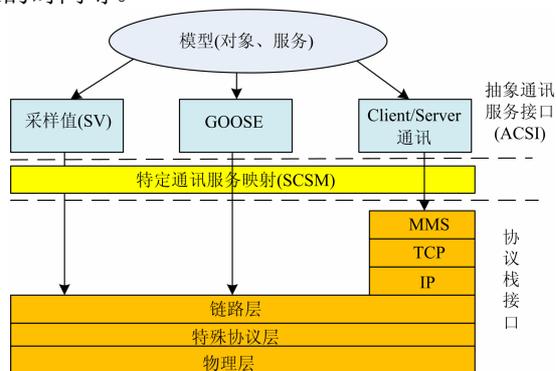


图 6 信息模型

Fig. 6 Information model

5 结束语

智能变电站是先进传感技术、光电技术、通信

技术等多种技术应用的成果, 是智能电网建设的基础。针对智能变电站信息流特点, 研发的专用通信设备, 在模拟测试和试点工程中已经表现出来卓越的工业品质和优异的性能指标, 并且还具有良好的性价比, 相信其大量推广应用, 将对智能变电站的建设产生积极的推动作用。下一步将研究云存储技术在通信设备中的应用, 利用虚拟化的存储技术构建巨大的存储池, 为变电站的报文分析及故障录波提供存储空间。

参考文献

- [1] Q/GDW 383-2009 智能变电站技术导则[S].
- [2] IEC 61850 communication networks and systems in substations[S].
- [3] 汪强. 基于 IEC61850 的光纤工业以太网交换的设计及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(7): 113-115. WANG Qiang. Design and application of fiber industrial Ethernet switch based on IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(7): 113-115.
- [4] MARTIN S, CLEMENS H, JOACHIM S. Get on the digital bus to substation automation[J]. IEEE Power & Energy Magazine, 2007, 5(3): 51-56.
- [5] 李瑞生, 李燕斌, 周逢权. 智能变电站功能架构及设计原则[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(21): 24-27. LI Rui-sheng, LI Yan-bin, ZHOU Feng-quan. The functional frame and design principles of smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(21): 24-27.
- [6] IEEE Std 1588-2008 IEEE standard for a precision clock synchronization rotocol for networked measurement and control systems[S].
- [7] MOORE R. Time synchronization with IEEE 1588[J]. PAC World Magazine, 2009: 47-51.
- [8] 崔全胜, 魏勇, 何永吉, 等. PTP1588 协议的分析[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(10): 148-153. CUI Quan-sheng, WEI Yong, HE Yong-ji, et al. Analysis of PTP 1588 protocol[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(10): 148-153.
- [9] Q/GDW 441-2010 智能变电站继电保护规范[S].
- [10] 贾小铁, 雷学义, 吴云峰, 等. PTN 为智能电网提供理想的信息通信平台[J]. 电力系统通信, 2010, 31(213): 20-23. JIA Xiao-tie, LEI Xue-yi, WU Yun-feng, et al. PTN provides an ideal information and communication platform for smart grid[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2010, 31(213): 20-23.

收稿日期: 2013-07-01

作者简介:

汪强(1978-), 男, 高级工程师, 主要从事电力通信技术研究; E-mail: scbzyanglong813@163.com

徐小兰(1984-), 女, 助理工程师, 主要从事电力中低压保护方面的技术支持工作;

葛光胜(1975-), 男, 工程师, 主要从事电力通信技术研究。