



智能变电站过程层业务数据传输时延分析及优化控制

陈磊¹, 林如忠², 黄在朝¹, 邓辉¹, 王向群¹, 陶静¹

(1. 国网智能电网研究院, 江苏 南京 210003; 2. 国网电力科学研究院, 江苏 南京 210003)

摘要: 为了满足智能变电站过程层业务高实时性的要求, 从智能变电站通信系统和过程层业务数据两方面, 分析了典型通信网络架构、数据业务的实时性要求及网络数据时延的组成, 并提出了优化通信系统实时性的解决方案。

关键词: 智能变电站; 通信系统; 实时性

中图分类号: TN914.34

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015396

Optimal control and transmission delay analysis of the process layer business data in smart substation

CHEN Lei¹, LIN Ruzhong², HUANG Zaichao¹, DENG Hui¹, WANG Xiangqun¹, TAO Jing¹

1. State Grid Smart Grid Research Institute, Nanjing 210003, China

2. State Grid Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China

Abstract: In order to meet the requirements of high real-time performance in the process of the smart substation, the typical communication network architecture, the real-time requirement of data service and the composition of network data delay were analyzed from the two aspects of communication system. And a solution for optimizing the real-time performance of communication system was presented.

Key words: smart substation, communication system, real-time

1 引言

智能变电站采用网络化的通信系统以实现信息的传输和共享。IEC61850 将智能变电站分为 3 层, 即站控层、间隔层和过程层。常见的网络构架为: 三层两网和三层共网。组网方式通常为星型或环型。通信协议采用工业以太网技术。核心通信设备是工业以太网交换机, 符合 IEC61850-3 标准和公司相关标准。现有工程国产化设备

已经批量使用。总体来看, 现有智能变电站通信解决方案基本可以满足智能变电站的通信需求, 但由于目前的智能变电站网络通信装置——以太网交换机多采用存储转发方式, 在不同数据流量的情况下, 造成数据传输时延变化较大, 传输实时性需要进一步改善。

本文针对目前智能变电站通信网络存在的实时性问题进行了研究, 重点分析了实时性要求较高的过程层数据的特性, 并提出相应的通信网络优化方案, 提高智能变电站通

收稿日期: 2015-10-01; 修回日期: 2015-12-10

基金项目: 国家电网公司科技项目“新一代智能变电站网络通信及保护深化技术研究”

Foundation Item: The Science and Technology Projects of State Grid Corporation of China “Deepen Technology Research on Communication Network and the Protection of the New Smart Substation”



信网络的实时性。本文研究成果将为智能变电站可靠运行和健康持续发展提供技术支撑,有力地推动我国智能变电站产业升级,带动智能电网建设,保证国家能源经济安全。

2 智能变电站通信系统

广义的通信系统通常包括发送终端、传输介质、中继/转发设备及接收终端。智能变电站通信系统依据 IEC61850 要求,通信协议采用以太网技术,组网方式根据变电站的实际情况可以是星型或环型,网络冗余根据变电站的电压等级进行合理配置,最典型的(也是未来的终极目标)是全站统一组网,即三层共网。通信设备主要为二层工业以太网交换机,通信终端包括站内所有联网装置:智能终端、保护测控装置、合并单元、监控后台、电子互感器等。作为智能变电站二次系统的重要组成部分,通信系统承担着保护、测控、计量等站内所有的业务数据的任务,其中保护对数据实时性提出了极高的要求^[1-3]。

智能变电站通信网络示意如图 1 所示。

3 智能变电站业务实时性分析

3.1 智能变电站业务信息流实时性分析

IEC 61850 严格详细规定了 SAS(变电站自动化系统)的报文性能,报文根据不同的时延要求被划分为快/中/低速跳闸报文、命令报文、数据生成报文、传输文件报文、时间同步报文,共 7 类,其中“快速跳闸报文”和“数据生成报文”对实时性要求较高,时延要求小于 3 ms。按周期性和实时性可将这些信息流分为 4 种类型:SMV、GOOSE、监控和维护,具体特性描述见表 1^[4,5]。

表 1 智能变电站信息流特性

信息类型	SMV 信息流	GOOSE 信息流	监控信息流	维护信息流
服务模式	SMV 模型	GOOSE 模型	报告和记录模型	文件传输模型
通信模式	发布/订阅	发布/订阅	客户/服务器	客户/服务器
周期性	周期	突发	突发	随机
实时性	硬实时	硬实时	软实时	非实时
优先级	次高	最高	中	低

(1)SMV 信息流

用于传送过程层合并单元与间隔层设备间的周期性采样测量值,一般要求在 3~10 ms 内完成传输,与具体的采样率有关。此类信息流采用基于 P/S (publisher/subscriber)机制的 SMV 服务模型,由于传输时延的要求,为节省网络协议拆封时间开销,该类数据流通过 SCSSM 直接映射到以太网 LLC 层。

(2)GOOSE 信息流

用于传送事件驱动报文(如跳闸、联锁、运行状态等),包括过程层和间隔层、同一间隔内或不同间隔设备间报文。具有突发性和硬实时性的该类信息流通常要求在 1~4 ms 内必须完成传输,具有最高优先权。GOOSE 采用基于 P/S 机制的 GOOSE 服务模型,直接映射到以太网的 LLC 层。

(3)监控信息流

用于传送间隔层与站控层设备间的一次设备运行状态和控制信息,包括周期性的遥信/遥测信息和事件驱动信息。由于并不是所有的主站都需要实时显示保护数据,为简化分析,只研究有较强的突发性且具有较高重

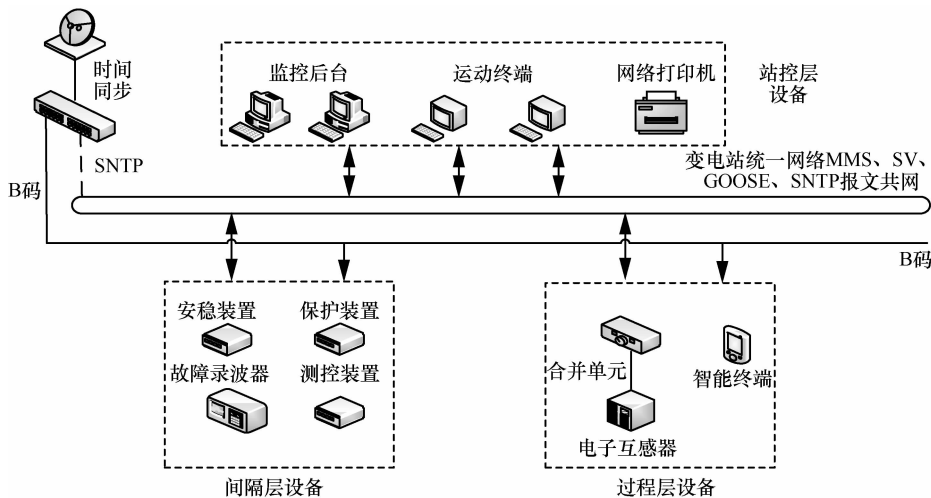


图 1 智能变电站三层共网示意

要性的告警等事件驱动信息。这类信息流的传输时间通常为 100 ms 左右,由于是软实时信息,主要通过基于 C/S 模式的报告和记录服务模型实现,SCSM 将其映射到 MMS/TCP/IP。

(4)维护信息流

主要用于传送间隔层和站控层设备间的维护和诊断等信息以及站控层与过程层设备之间的配置信息,具有随机性。该类信息流量大,实时性不高,通常采用基于 TCP/IP 的文件传输 (file transfer) 服务模型实现。IEC61850 规定,该模型应该包含文件名、大小和最近访问时间等属性,提供读取、修改、删除和取文件属性值等服务。

综上,信息流的数据量及实时性统计见表 2。

表 2 信息流的数据量及实时性统计

报文类型	特征	数据量/(Mbit·s ⁻¹)	时延要求/ ms
MMS	TCP 协议传输	全网<10	遥测突变时<100
GOOSE	突发,有重传机制	一般情况下忽略不计,雪崩时全网<21	跳闸时<3
SV	核定速率发送,抖动<10 μs	单端口<7 全网<80	<3

3.2 智能变电站通信系统数据传输时延分析

图 2 为网络数据传输时延示意。

智能变电站数据传输时延是指输出由源终端设备发出,到目的终端设备接收识别的整个过程所用时间^[6],通常包括以下几个部分。

(1)发送端处理器处理时延 T_1

指 IED1 的应用程序 1 进行数据处理和协议封装,并将报文从其数据缓冲区复制到 NIC 发送缓冲区的时延以及数据在发送缓冲区暂存,等着被发送而产生的排队时延。这部分时延通常和 CPU 的处理速度、数据分组的格

式、数据分组的长度、应用功能间的相互协调配合相关,可根据实际情况估算出来。

(2)网络传输时延 T_N

指报文从 IED1 在物理端口经过网络到达 IED2 的物理端口的总时延,包括 3 个部分。如图 2 所示, T_{11} 是物理链路 1 上的数据时延,该时延小且基本固定,可估算; T_s 是交换机的交换时延(如果是多级交换机级联的话,则 T_s 包括了多级交换机的交换时延和交换机间级联物理链路的时延),由交换机制导致的该时延具有不确定性; T_{12} 是交换机端口 2 到 IED2 设备的物理端口的物理链路 2 上的时延,该时延小且主要和链路长度有关,可估算。所以, $T_N=T_{11}+T_s+T_{12}$ 。

(3)接收端通信处理时延 T_2

该时延和发送端的时延极其相似,是发送端的逆过程,主要包括数据在网卡缓存中的等待时间和接收节点 IED2 对报文进行协议拆封并将重新拼装后的报文复制到应用功能 2 的数据空间的时延。该时延同样和 CPU 的处理速度、数据分组的格式、数据分组的长度、应用功能间的相互协调配合相关,可根据实际情况估算出来。

因此,报文传输所经历的总时延可以表示为: $T_d=T_1+T_{11}+T_s+T_{12}+T_2$ 。

4 通信系统实时性优化方案

智能变电站通信网络是一个实时性要求较高的复杂网络,通常要解决实时性问题,并非依靠单一技术就可完成,可通过虚拟局域网技术(VLAN)来隔离局域网,减小网络负载;采用服务质量技术(QoS),将业务数据按实时性高低分级,优先传输实时性高的报文;采用时延标记技术,将数据传输时延部分的 T_s 告知终端设备,以确保传输时延可知。

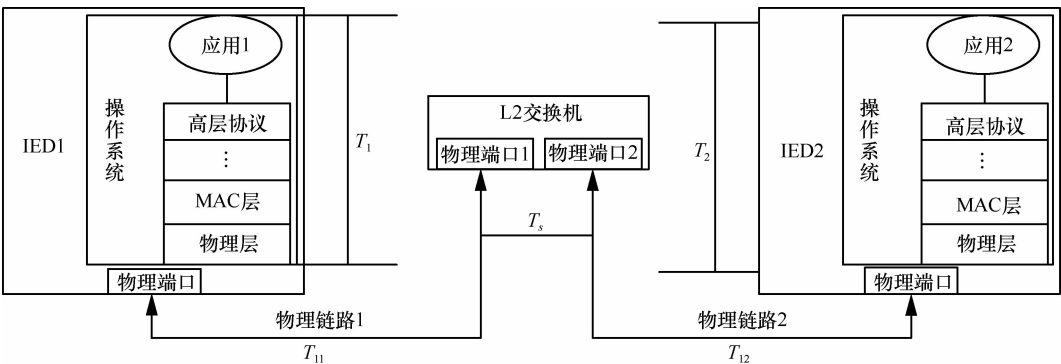


图 2 网络数据传输时延示意



(1) 采用 VLAN 隔离,降低网络负荷

智能变电站通信系统中典型的业务数据类型 GOOSE、SV 均以多播的形式进行传输,实际应用中甚至采用广播的方式。通常本间隔的数据也会在整个系统流窜,占用系统有限带宽,增加了有效数据在系统中排队等待的时间。采用 VLAN 技术,按间隔进行合理划分,将不需要跨间隔的数据隔离在本间隔内,对于需要跨间隔的数据另设单独 VLAN,从而有效降低系统网络负荷。按间隔划分 VLAN 示意如图 3 所示。

(2) 采用 QoS 技术,优先传输关键业务

智能变电站中需要传递的采样值、跳闸、联锁、运行状态、控制等各种信息对时延的要求不同,可根据时延要求,

将业务报文设置不同的优先级,以便关键实时报文可以第一时间传输到目的地^[7],如图 4 所示。

(3) 通过业务流识别,进行时延标记,交换资源分配、调度

采用网络传输时延标记技术,保障继电保护控制“网采网跳”可靠实施。继电保护的网络化,即“网采网跳”,可以实现网络信息的共享,并且大大简化光纤接线,提高调试效率,节约建设成本。但要实现继电保护的“网采网跳”,还需实现数据传输时延确定性。通过采用网络传输时延标记技术,在报文进出网络交换机时分别进行时间标记,精确计算报文在交换机内的驻留时延 ΔT 并写入传输报文内,实现数据传输时延的确定性,为继电保护控制“网采网跳”提供通信保证。时延标记功能示意如图 5 所示。

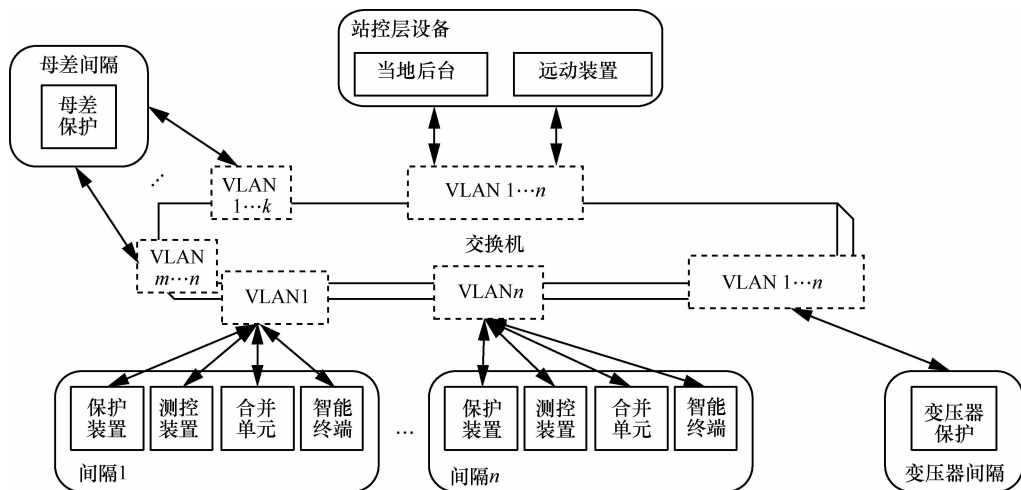


图 3 按间隔划分 VLAN 示意

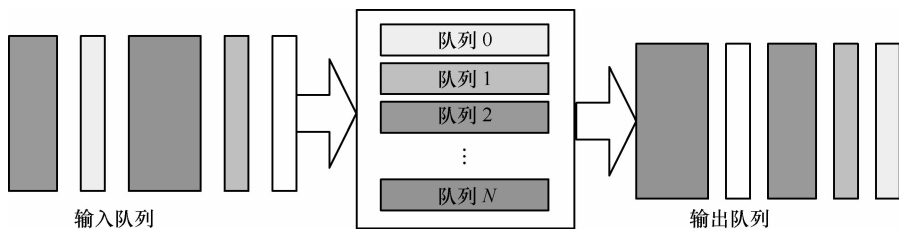


图 4 输入数据优先级控制

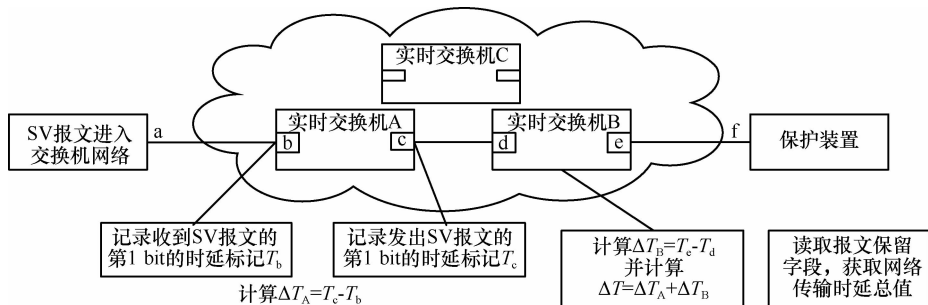


图 5 时延标记功能示意

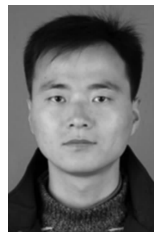
5 结束语

本文在智能变电站通信系统全部采用网络化的基础上,分析了业务信息流的实时性特点、网络数据传输过程中时延特征及计算方法,并提出降低网络时延的实时策略及测量网络时延的方法,为智能变电站通信的网络化建设提供了参考依据,具有实际的指导意义。

参考文献:

- [1] 任雁铭, 秦立军, 杨奇逊. IEC 61850 通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(8): 62-64.
REN Y M, QIN L J, YANG Q X. The introduction and analysis of communication protocol system [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(8): 62-64.
- [2] 高翔, 张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术 [J]. 电网技术, 2006, 30(23): 67-71.
GAO X, ZHANG P C. The main features and the key technologies of digital substation [J]. Power System Technology, 2006, 30(23): 67-71.
- [3] 丁道齐. 一体化的电力与通信系统体系结构 [J]. 电力系统通信, 2008, 29(183): 1-9.
DING D Q. The integration of architecture of the power and communication system [J]. Telecommunications for Electric Power System, 2008, 29(183): 1-9.
- [4] 孙建彬, 严涛. 智能变电站通信系统的实时性和可靠性研究 [J]. 广东科技, 2014(14): 49-50.
SUN J B, YAN T. The research on real-time and reliability of the communication system of intelligent substation [J]. Guangdong Technology, 2014(14): 49-50.
- [5] 赵建利. 智能变电站通信系统的实时性和可靠性研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2012: 1-115.
ZHAO J L. The research on real-time and reliability of the communication system of intelligent substation [D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2012: 1-115.
- [6] 朱国防, 陆于平. 数字化变电站级联网络时延上界计算方法 [J]. 电力自动化设备, 2010, 30(10): 58-61.
ZHU G F, LU Y P. The method of calculating the bound delay in cascaded network for digital substation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(10): 58-61.
- [7] 辛建波, 段献忠. 基于优先级标签的变电站过程层交换式以太网的信息传输方案[J]. 电网技术, 2004, 28(22): 26-30.
XIN J B, DUAN X Z. The information transmission scheme of substation process layer switched Ethernet based on priority tag [J]. Power System Technology, 2004, 28(22): 26-30.

[作者简介]



陈磊(1983-),男,国网智能电网研究院工程师,主要研究方向为电力系统通信。

林如忠(1963-),男,国网电力科学研究院工程师,主要研究方向为电力系统通信。

黄在朝(1974-),男,国网智能电网研究院高级工程师,主要研究方向为电力系统通信。

邓辉(1982-),男,国网智能电网研究院高级工程师,主要研究方向为电力系统通信。

王向群(1982-),男,国网智能电网研究院高级工程师,主要研究方向为电力系统通信。

陶静(1987-),女,国网智能电网研究院工程师,主要研究方向为电力系统通信。