

# 基于 IEC61850 的变电站通信系统的仿真研究

高琴, 尹斌

(河海大学 能源电气学院, 江苏 南京 211100)

**摘要:** 本文介绍了 IED 通用模型建模技术和如何使用 OPNET Modeler 设置一个研究平台来解决这些问题。这些可配置的 IED 模型让工程师很容易用不同的拓扑结构给不同的变电站建立 SAS 网络模型, 从而可以研究动态特性和制定规则来指导 SAS 网络规划和设计, 同时这里也介绍了使用这些模型构建 SAS 网络的例子并对这些网络特性进行了仿真。

**关键词:** OPNET Modeler; 拓扑结构; SAS 网络模型; 网络特性; IEC61850

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1674-6236(2013)22-0088-03

## Study and simulation of substation communication system based on the IEC61850

GAO Qin, YIN Bin

(College of Energy and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China)

**Abstract:** This paper introduces the modeling technique of IED generic models and the setup of a research platform for resolving those issues using the OPNET Modeler. These configurable IED models allow the engineers to easily build SAS network model with different topologies for all kinds of substations so that the dynamic performance issues could be studied and rules could be developed to guide the SAS network planning and design. Some examples of using those models to construct SAS network as well as the network performance simulation results are also included in this paper.

**Key words:** OPNET Modeler; topology; SAS network model; network performance; IEC61850

随着国际变电站自动化系统(SAS)通信标准 IEC61850 的发行,不同制造商的智能电子设备(IED)之间的互操作性也得以解决。但是网络通信的总体特性和扩展性仍未得到改善。SAS 由 IEDs 和网络通信技术实现, 它可以为变电站监控、本地远程监控和保护、设备状态监测和其他一些可以容易实现的功能, 这些功能是根据传统的变电站通信标准。IEC61850 标准是基于通用网络通信平台的变电站自动化系统唯一国际标准,它制定了不同 IEDs 通信协议,这样就解决了互操作性问题<sup>[1]</sup>。

## 1 仿真软件介绍

变电站通信网络中存在许多高低电压设备, 在这些实际设备组成的网络环境中进行网络设计和性能研究不仅危险而且成本大,收集分析数据统计也存在一定的困难。因此专用的网络仿真工具就应运而生了。OPNET 是一个网络仿真软件包,是目前业界公认的最优秀的通信网络仿真软件,它能准确的分析复杂网络的性能和行为,在网络模型中的任意位置都可以插入标准的或用户指定的探头,以采集数据进行统计<sup>[2]</sup>。

SAS 网络模型使用标准以太网工作站 PC 机,服务器和连接模型。根据 IEEE 802.1Q 标准,交换模型中是 MAC 模块从标准交换模块修改为支持链路层优先级。这些模型的详

细信息可以从 OPNET Modeler 或使用手册获得。为了改善交换式 SA 网络的总体性能,配置虚拟 LAN 来限制某些拓扑结构的初始数据消息广播域。OPNET 中标准的以太网交换机模型通过端口组提供虚拟 LAN 成员身份<sup>[3]</sup>。

## 2 变电站自动化通信系统网络模型

SAS 交换式以太网网络模型如图 1 所示。OPNET 的项目编辑器允许用户做大部分这样的工作。IED 模型建模成功后,就可以构建 SAS 网络研究平台,一个设备调色板由项目编辑器创建,其中包括所有 SAS 网络设备模型。它允许用户拖动任何设备到项目工作空间并用连接设备建立通信网络<sup>[4]</sup>。网络配置包括 SAS 网络的数据流分析,网络流量和网络参数配的设置。例如,在仿真前需要为每个 MU IED 选择初始数据采样速率,包大小,开始时间和停止时间。此外,为了让这些数据能被正确接收,应为每个 IED 设置源地址、目的地址、组播组地址和发送方式。在变电站通信网络中,为了定义流量通过 MMS 协议栈,需要设计站控机、P&C、IED 和断路器 IED 文件来满足流量模式。网络配置完成后,应决定要收集的统计信息。对网络特性研究来说,重要信息的端到端延时时间是一个很关键的数据,它可以反映网络特性。例如,如果跳闸消息延迟大于 4 毫秒时,系统的性能是不能接受的,因为它违反了 IEC61850 标准。运行仿真是非常简单的设置完持

收稿日期:2013-04-22

稿件编号:201304262

作者简介:高琴(1972—),女,安徽安庆人,硕士。研究方向:计算机测控。

续时间后,只要点击运行按钮 OPNET 就会仿真网络并收集数据,实际的仿真时间将取决于计算机的运行速度。仿真完后,可以在项目编辑器中看到仿真结果,OPNET 也可以收集所有的结果产生一个 web 报告。结果分析包括比较在不同配置下的仿真结果<sup>[5-8]</sup>。如图 1 所示是交换式以太网网络模型。

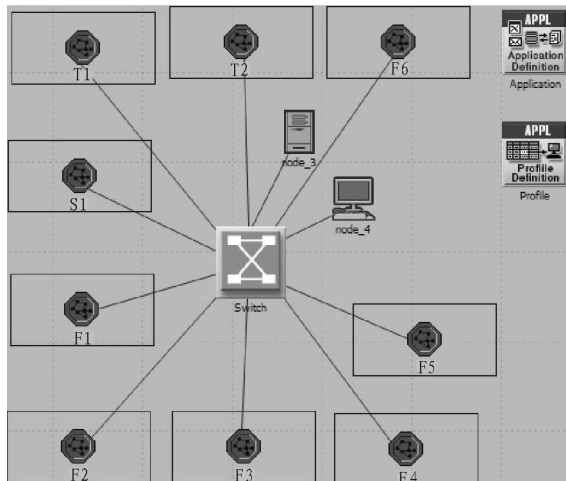


图 1 交换式以太网网络模型

Fig. 1 Switched Ethernet network and underline bay unit

### 3 变电站自动化系统结构和性能评价

220 kV 变电 D2-1 型变压器托架 1 母线段湾和 6 馈线海湾被选中作为一个应用程序的例子。图 2 显示了单线图 and 变电站的物理间隔已经用 SAS 性能研究平台建立了交换式以太网。每个支线湾建模成一个子网,包含一个断路器 IED,一个 MU IED,一个 P&C IED,一个以太网交换机。变电站研究了两种基本的结构星型和环型结构。图 12 显示了星型结构和突显出子网的 T1 湾和 F1 湾 数据流配置根据以下假设。当仿真开始时每个 MU IED 以一种特定的采样速率发送初始数据到相应的 P&C IEDs。每个 APDU 由变压器 MU IED 产生,包含两个 ASDUs,因为它包含两个数据集的电流和电压。

假设故障引起在子网 F1 和 T2 中的 P&C IEDs 发送跳闸消息到相应的断路器 IEDs。为了观察跳闸消息的影响,其中的一个 T2 连续发送跳闸信号给相应的断路器和 S1 中的断路器。消息的长度为 16 字节。每个跳闸消息被发送四次以确保正确传递。跳断路器 IED 也报告 GSSE 报文给相应的 P&C 的 IEDs。所有 P&C IEDs 和断路器 IEDs 以 20 Hz 的频率发送更新表值和断路器状态到变电站服务器。在这项研究中消息大小设置为 32 字节,每条消息都一次发送

到网络所有的 P&C IEDs 可使用重型 FTP 功能随机长传/下载文件到变电站服务器。如图 3 所示是重型 FTP 原始数据样本的端到端延迟的影响。

由于文件下载的最大消息延时时间是 0.683 s,所以可以看到优先标签在 10 Mb/s 的速度下减少端对端延时时间为 0.424 ms。但是如果以 100 Mb/s 的快速以太网速度优先级标

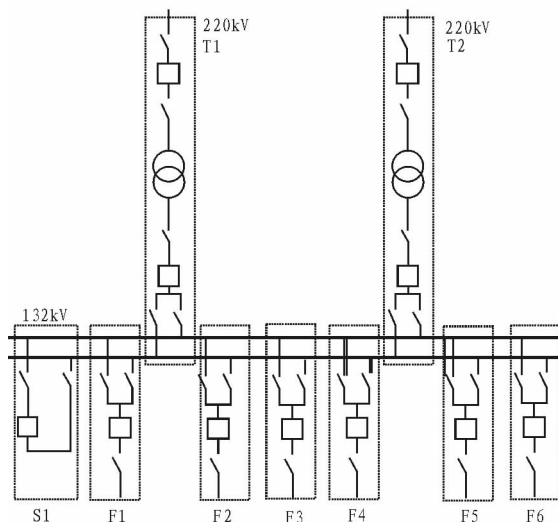


图 2 变电站的物理间隔的单接线图

Fig. 2 Substation single line diagram

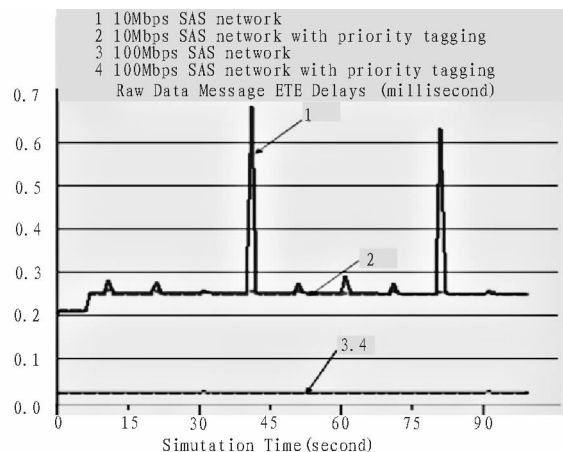


图 3 重型 FTP 原始数据样本的端到端延迟比较仿真结果

Fig. 3 Test result of ETE delays of raw data messages

签和重型 FPT 几乎对初始数据样本信息 ETE 延时无影响。如表 1~2 所示,在 10 Mb/s/100 Mb/s 的网络速度下和不同初始数据采样速率的网络仿真结果的比较。

表 1 原始数据消息端对端延时  
Tab. 1 Raw data of message ETE delays

LAN 速率/ Mbps	采样速率/ (样本/s)	原始数据消息延时/ms (无优先级标签)		原始数据消息延时/ms (带优先级标签)	
		平均	最大	平均	最大
		10	960	0.220	0.296
10	1 920	0.220	0.335	0.220	0.278
	4 800	0.258	0.683	0.248	0.259
100	960	0.023	0.023	0.023	0.023
	1 920	0.023	0.023	0.023	0.023
100	4 800	0.023	0.023	0.023	0.023

上述的结构成本相对较贵,因为它的每个间隔单元有一个交换机和一共用了 10 个以太网交换机,对于同一个变电站,一个经济的网络结构只用 10 Mb/s 的链接速率仿真三层

表2 平台间消息端对端延时  
Tab. 2 Interbay trip message ETE delays

LAN 速率 /Mbps	采样速率 /(样本/s)	平台消息延时/ms(无 优先级标签)		平台消息延时/ms(带 优先级标签)	
		平均	最大	平均	最大
10	960	0.214	0.206	0.121	0.151
	1 920	0.123	0.200	0.126	0.215 4
	4 800	0.128	0.205	0.121	0.146
100	960	0.014	0.015	0.014	0.014
	1 920	0.014	0.015	0.014	0.014
	4 800	0.021 4	0.015	0.014	0.014

交换机。在此架构下,开关变压器连接连个变压器,馈电开关连接6个馈线和总线部分,站控开关保持不变。如表3所示,显示了以4 800 Hz的初始数据采样频率的变电站消息延时时间。可以看到原始数据采样和平台间的消息几乎有相似特点,第一结构s的链接速率都是10 Mbs。然而,最大的平台间的消息时延达到了1.729 ms无优先级标签。在这种情况下,如果在上面的变压器交换机中加入5个馈线单元不改变任何配置再对网络进行仿真观察网络特性。

表3 4 800 Hz的初始数据采样频率的变电站消息延时  
Tab. 3 Substation message ETE delays at 4 800 Hz

消息名称	原始数据消息延时/ ms(无优先级标签)		原始数据消息延时/ ms(带优先级标签)	
	平均	最大	平均	最大
原始数据样本	0.252	0.776	0.242	0.371
平台间消息	0.127	0.196	0.120	0.150
内部消息	0.550	1.729	0.262	0.545

## 4 结 论

使用IED模型,建立SAS网络和模拟网络的性能,已被证明是一种有效的工具,用于在SAS网络解决关键的性能问题,通过示例应用程序的模拟,可以观察到基于以太网的IEC61850变电站通信系统,已经表现出足够的性能满足在变电站自动化系统中时间重要消息。IEDs和可以提供优先级标签的交换机可以应用于信息流量大的网络。在实际的SAS中,它是有利于保护和通信工程师来评估网络里面的消息延迟。IEC61850规定网络特性可以通过选择适当的拓扑结构和网络配置。

### 参考文献:

[1] 时娟. 基于IEC61850标准的变电站集成系统模型研究[J].

机电信息,2011(36):42-43.

SHI Juan. Reserch of substation integration system model based on the IEC 61850 standard[J]. Electrical Information, 2011(36):42-43.

[2] 高会生,靳玮玮. 基于OPNET的变电站端对端通信实时性仿真研究[J]. 继电器,2006,34(19):33-37.

GAO Hui-sheng, JIN Wei-wei. Research on end-to-end delay for substation communication based on OPNET simulator[J]. Relay, 2006, 34(19):33-37.

[3] 李妹苓,曾成,张玲,等. 基于OPNET的变电站通信系统性能仿真研究[J]. 电子设计工程,2011,19(22):98-100,103.

LI Mei-ling, ZENG Cheng, ZHANG Ling, et al. Research on performance for substation communication system based on OPNET simulator[J]. Electronic Design Engineering, 2011, 19(22):98-100, 103.

[4] 魏璇,刘玉忠,刘沛,等. 一种全分布式变电站自动化通信系统的实现[J]. 电力系统自动化,1999,23(13):54-56.

WEI Xuan, LIU Yu-zhong, LIU Pei, et al. Implementation of A substation communication system based on completely distributed structure[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(13):54-56.

[5] 王飞,刘洪才,潘立冬,等. 分层式结构变电站自动化通信系统研究综述[J]. 华北电力大学学报,2007,34(1):22-25.

WANG Fei, LIU Hong-cai, PAN Li-dong, et al. Review on automatic communication network of hierarchical substation[J]. Journal of North China Electric Power University, 2007, 34(1):22-25.

[6] 沈宏涛,李瑞芳. 变电站自动化网络通信系统仿真[J]. 电力自动化设备,2007,27(6):114-117.

SHEN Hong-tao, LI Rui-fang. Simulative research on substation automation network communication system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(6):114-117.

[7] 李先妹. 数字化变电站网络通信技术的研究[J]. 陕西电力,2011(6):37-40.

LI Xian-mei. Study on network communication technology of digital substation[J]. Shaanxi Electric Power, 2011(6):37-40.

[8] 李铁成,张立,郝晓光,等. 智能化变电站网络传输延时分析[J]. 陕西电力,2011(4):65-67.

LI Tie-cheng, ZHANG Li, HAO Xiao-guang, et al. Analysis of network transmission delay in intelligent substation [J]. Shaanxi Electric Power, 2011(4):65-67.

欢迎订阅 2014 年度《电子设计工程》(半月刊)

国内邮发代号:52-142

国际发行代号:M2996

订价:15.00元/期 360.00元/年