

基于 OPNET 的 GOOSE 网仿真平台的实现

李琪林¹ 范荣全² 肖 红²

(四川电力科学研究所生技部 成都 610072)¹ (四川省电力公司 成都 610041)²

摘 要 随着 GOOSE 技术在智能化变电站中的广泛应用,对 GOOSE 的实时性和可靠性等特性的研究就显得非常重要。由于 GOOSE 结构的复杂性、研究成本等原因,使得传统的实测法不能很好地满足研究需求,而仿真分析法则可以很好地应用于该领域。介绍了一种基于 OPNET 的 GOOSE 网仿真平台的搭建方法。该仿真平台可广泛应用于对 GOOSE 各种特性的分析与研究。

关键词 GOOSE, OPNET, 仿真平台, 动态仿真

Implementing of OPNET Based GOOSE Simulation Platform

LI Qi-lin¹ FAN Rong-quan² XIAO Hong²

(Production and Technology Department, Sichuan Electric Power Science and Research Institute, Chengdu 610072, China)¹

(Sichuan Electric Power Corporation, Chengdu 610041, China)²

Abstract With the wide application of GOOSE in smart substation, the investigation of real-time and reliability of GOOSE appears increasingly important. Due to the complexity of GOOSE and high cost of research, the traditional measured method is not good enough to meet the research demands. However, the simulation analysis method can work well in the field. The method of implementing GOOSE simulation platform based on the OPNET was introduced. The platform can be widely applied in various kinds of analysis and research of GOOSE.

Keywords GOOSE, OPNET, Simulation platform, Dynamic simulation

通用面向对象的变电站事件(GOOSE)是 IEC61850 标准定义的一种快速报文传输机制^[1]。GOOSE 以高速网络通信为基础,为整个变电站装置间的通信提供了快速且高效可靠的方法,可广泛应用到间隔闭锁和保护功能间的信号传递。GOOSE 用网络信号代替了智能电子装置之间硬接线通信方式,简化了变电站二次系统接线。近年来,随着 IEC61850 标准在国内的推广应用,GOOSE 在变电站中的应用越来越广泛^[2-4]。因此,对 GOOSE 网的实时性和可靠性等特性的研究就显得很有必要。

1 仿真分析法简介

通信网络性能的研究方法可分为定性与定量分析两类。定性分析法较粗略,常常需要在使用过程中进行动态的调整,以满足用户的需求,而定量分析法则能更精确地反映网络性能的实际情况,为技术人员设计和规划网络提供了更准确、详细的依据。目前国内外常采用的定量方法主要有现场实测、数学分析以及动态仿真建模等。

在 GOOSE 网络性能的研究过程中,如果采用现场实测方法,则需要使用软件或专用硬件设备,在现有网络系统上进行实地采样和检测,通过统计评价真实系统的性能。对变电站通信网络来说,现场实测法在绝大多数情况下是不切实际的。一是因为网络结构复杂,价格昂贵,不可能先建立起网络

再确定其性能;其二,为预测网络的响应,在一个运行的网络上增减负载或进行其他项目试验,会干扰系统的正常运行,也很难把控恶劣试验结果的影响,难以观测到故障时刻的网络性能。

计算机动态仿真的网络仿真技术是一种通过建立网络设备和网络链路的统计模型,并模拟网络流量的传输,从而获取网络设计或优化所需要的网络性能数据的仿真技术。由于仿真不是基于数学计算,而是基于统计模型,因此,统计复用的随机性被精确地再现。

网络仿真技术具有:(1)仿真实验结果可信度高;(2)具有预测功能;(3)使用范围广,可用于网络优化、扩容和新设计;(4)应用成本低等特点。智能化变电站网络结构复杂,智能单元类型和数目众多,且对网络可靠性、实时性等网络性能要求高。因此,使用计算机仿真技术对智能化变电站通信网络进行规划、优化,验证网络性能,是网络设计中不可或缺的部分。本文介绍了一种基于 OPNET 仿真软件搭建 GOOSE 网仿真平台的方法。

2 GOOSE 网通信协议栈

GOOSE 是一种实时应用,主要传送间隔闭锁信号和实时跳闸信号。根据 IEC61850 标准的规定,GOOSE 信号的通信延迟应小于 4ms。在保证 GOOSE 正确可靠的前提下,应

本文受国家电网公司重点科技支撑项目-智能变电站在线监测关键技术研究(WG1-2010-X)资助。

李琪林(1973—),男,博士,高工,主要研究方向为智能电网等,E-mail:li_qi_lin@163.com;范荣全(1967—),男,高工,主要研究方向为电力系统分析、智能电网等;肖 红(1964—),女,高工,主要研究方向为高电压技术等。

在发送端、交换机、接收端尽可能地提高实时性,即本文提出的全方位实现 GOOSE 实时性的观点。

针对 GOOSE 网络的实时性和可靠性要求,IEC61850 标准针对变电站所有功能定义了比较详尽的逻辑节点和数据对象,并提供了完整的描述数据对象模型的方法和面向对象的服务。这些抽象的通信服务、通信对象及参数通过特殊通信服务映射(SCSM)可映射到底层应用程序,其映射一般遵循 MMS+TCP/IP+ISO/IEC 8802.3 模式,而 GOOSE 模型的报文传输映射实现比较特殊(如图 1 所示),应用层专门定义了协议数据单元 PDU(Protocol Data Unit),经过表示层编码后,不经 TCP/IP 协议,直接映射到数据链路层和物理层,即传输层和网络层均空。这种映射方式的目的是避免通信堆栈造成传输延迟,从而保证报文传输、处理的快速性^[5,6]。

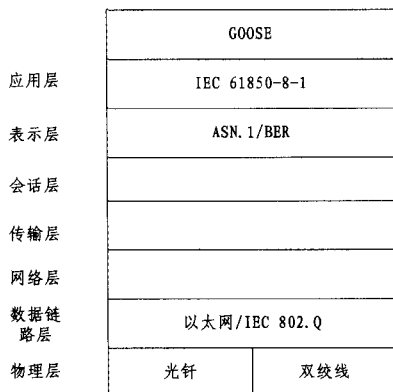


图 1 GOOSE 网通信协议栈

3 GOOSE 网络采用的外部技术

GOOSE 网络的实现还采用了以下以太网交换机技术^[7]:

(1) 802.1P——优先级

802.1 协议可以保证具有高优先级的数据优先通过,为 GOOSE 报文设置高优先级,保证了 GOOSE 网的实时性。

(2) 802.1Q——VLAN

GOOSE 网结构较复杂,结点很多,通过 VLAN 划分网段可减少广播流量,降低网络负载过重导致的报文冲突丢失的可能性,并增强网络安全性。

(3) 802.1W——快速生成树

该交换机协议决定最短路径,保证所有交换机均有一条路径连接根网桥;阻止网络风暴;快速自愈。

以上这些交换机支持的技术,提高了以太网的实时性和可靠性,对 GOOSE 技术的应用和全数字化变电站的发展起到了有益的推动作用。

4 OPNET 仿真软件

OPNET 网络仿真软件是 MIL3 公司的产品,是一个大型的通信与计算机网络仿真软件包,为通信网和分布式系统的模拟提供了详尽全方位的支持^[8]。OPNET Modeler 提供了 3 层建模机制,分别在进程层、节点层和网络层进行由下到上的建模。同时在仿真的过程中采用离散事件驱动的模拟机理。

进程模型的基础是用有限状态机 FSM(Finite State Machine)来描述各种协议。各个状态再分别进行编程实现。

节点模型由进程模型构成,可以组成完整的协议栈,真实地反映所建模设备的特性。各模块间通过数据包和状态信息的传递来进行各种操作,进而实现设备的功能。

网络模型由节点模型组成,可以通过不同的拓扑设计来构造出各种不同的网络结构。

5 基于 OPNET 的仿真平台搭建

结合 GOOSE 网的通信方式和 GOOSE 结点的特点,基于 OPNET 为 GOOSE 网搭建仿真平台,以下几个小结从网络模型、节点模型、协议模型 3 个角度分别说明 GOOSE 网络仿真平台设计搭建的具体过程。

5.1 仿真平台的网络模型搭建

在 OPNET 仿真平台中采用了 3 层建模机制,最上层的是网络模型。网络模型和实际的网络基本对应,比较全面地反映了网络的相关特性。图 2 和图 3 分别是在 OPNET 仿真软件中建立的 GOOSE 网星形网络拓扑和环形网络拓扑的网络模型。

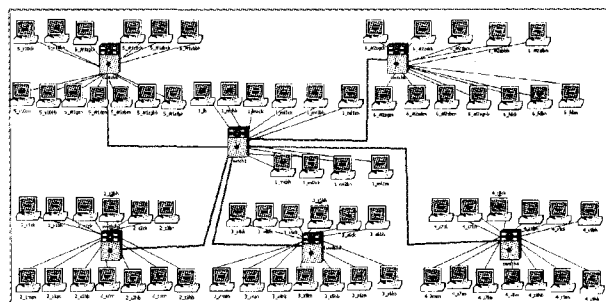


图 2 GOOSE 网星形网络拓扑模型

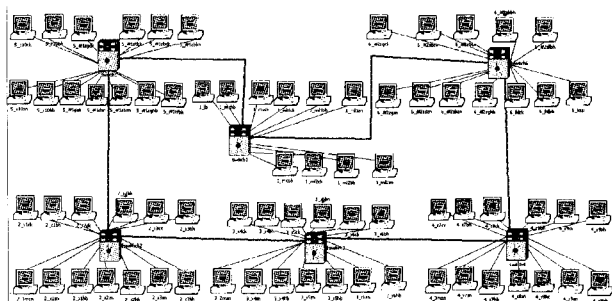


图 3 GOOSE 网环形网络拓扑模型

网络模型主要反映网络中节点间的拓扑结构关系、地理布局等。从图 2 和图 3 可以看出,GOOSE 网络模型主要包括 GOOSE 节点和交换机。网络中每个节点完全采用分布式处理数据包。即使采用相同 GOOSE 节点模型的节点,通过配置节点的属性值,每个节点都可以获得不同的处理能力和处理方式,平台中的采用的是 3 层交换机,支持 802.1P、802.1Q 和 802.1W 协议。

5.2 仿真平台的结点模型搭建

节点模型在 3 层建模机制中对应于具体网络设备特性。每个节点模型都需要确定所包含的协议模块,并且定义不同协议模块间数据包的流向等。由第 2 节所描述的 GOOSE 通信协议栈可知,传统的网络结点模型不再适用于 GOOSE 网的分析,我们必须为 GOOSE 结点构建新的模型。图 4 是在 OPNET 平台中所设计的 GOOSE 节点模型。GOOSE 结点的

(下转第 476 页)

数据采集中心详细记录了生产过程中的各项测量参数采样数据,油气生产管理系统可在当日或事后对生产数据进行分析研究,系统界面如图4所示。

结束语 本文详细介绍了远程分段式油罐自动计量系统的结构原理、软硬件组成及实现的功能,目前该系统已通过现场安装调试与测试,系统工作良好,可以实现油罐多液位的远程监控和管理分析功能,提高了计量精度和工作效率,降低了工人劳动强度和人身安全风险,在实现油田数字化管理进程中,具有广阔的应用前景。

(上接第458页)

模型通过特殊通信服务映射(SCSM),将应用层数据直接映射到数据链路层和物理层,即传输层和网络层均空。这种映射方式的目的是避免传统的通信堆栈造成传输延迟,从而保证报文传输、处理的快速性。

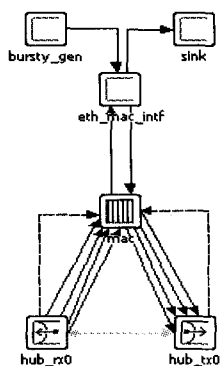


图4 GOOSE 结点模型

从图4可以看出,GOOSE结点的模型包括6个模块,分别为:bursty_gen、sink、eth_mac_intf、mac、hub_rx0和hub_tx0。其中各个模块的主要功能为:

(1) bursty_gen:该模块主要负责产生并发送GOOSE报文,其中包括了产生包的时间、大小及产生包的间隔时间等。另外,该模块还负责统计发送包的时间及发包数量等。

(2) sink:该模块主要负责接收发送来的GOOSE报文,其中还包括对收到的一些非法包的丢弃和销毁,对接收到的包的数量、包的一些特性及传送包的时间等的统计。

(3) eth_mac_intf:该模块主要负责接收来自bursty_gen的GOOSE包并向下发送给mac层,接收来自mac层的报文并向上发送给sink层,同时该模块还设置mac层的一些信息。

(4) mac:该模块主要负责对收到的GOOSE报文进行封装或将收到的GOOSE帧解封装,根据GOOSE报文的特征,采用相应的发送机制,将GOOSE帧或GOOSE报文发送到底层或高层。

(5) hub_rx0和hub_tx0模块:这两个模块是分别负责最底层的数据流的接收和发送的接口模块。

GOOSE网络中有测控装置、智能单元、保护装置、合并器等几种类型的GOOSE节点,这几种类型的节点模型包含相同的协议模块,只是在节点属性设置时有不同。

5.3 仿真平台中结点的进程模型搭建

进程模型是3层建模机制的最底层,是实施各种算法和协议的载体,因此大部分仿真工作量都集中在进程建模过程

参考文献

- [1] Sehuller R B, Engebretsen B, Halleraker M. Measurement of water concentration in oil/Water dispersions by a single-electrode capacitance probe[J]. IEEE, 2003(1):635-639
- [2] 招惠玲,周美娟,等.电容式液位测量系统的设计[J].传感器技术,2004,3(3):40-42
- [3] 张玉璜,陈伟民.小波变换自适应滤波器及在主动噪声控制中的应用[J].控制与决策,2002,17(1):107-110
- [4] 张民,丁常富等.小波分析在振动信号处理领域中的应用[J].电力情报,2001(3):5-7

中。对于事件驱动的仿真,进程模型是产生事件并处理事件的主体。仿真中进程模型采用的是有限状态机FSM(Finite State Machine)来描述事件处理过程。当状态发生变化时,状态机才工作,状态不发生变化的时间段不执行任何模拟计算,即这个时间段被跳过。因此,与时间驱动的仿真相比,事件驱动的仿真计算效率得到很大的提高。

图4是eth_mac_intf模块的进程模型。从图中的FSM可以看出eth_mac_intf包含6个状态。其中appl_layer_arrival状态是当上层有数据到来时触发,即bursty_gen模块发送数据。mac_layer_arrival是当mac层发送数据上来时触发。

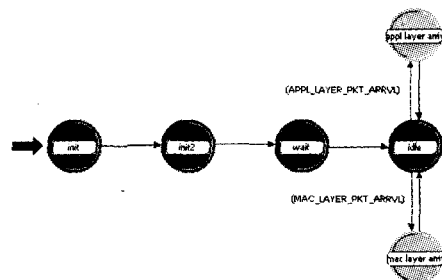


图4 模块eth_mac_intf的进程模型

结束语 本文介绍了基于OPNET搭建GOOSE仿真平台的方法。该仿真平台符合GOOSE网的通信方式,能够对GOOSE网的各种性能进行仿真。根据需要,该平台还能对不同拓扑、不同规模的GOOSE网的各种操作进行仿真分析,具有很好的扩展性、可信性。另外,该仿真平台还可以为实际GOOSE网的建设提供预测分析,具有很大的实用意义。

参考文献

- [1] 高翔,周健,周红,等. IEC61850 标准在南桥变电站监控系统中应用[J]. 电力系统自动化,2006,30(16):105-107
- [2] 范建忠,马千里. GOOSE 通信与应用[J]. 电力系统自动化,2007,31(19):85-90
- [3] 沈健,黄国方,周斌. IEC 61850 在变电站综合自动化系统中的应用[J]. 电力系统自动化,2007,31(19):85-90
- [4] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等. 基于IEC61850的通用变电站事件模型[J]. 电力系统自动化,2005,29(19):45-50
- [5] 李小滨,韩明峰. GOOSE 实时通信的分析与实现[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(10):59-62
- [6] DL/T 860. 81-2006 第8-1部分:特定通信服务映射(SCSM)对MMS(ISO 9506-1和ISO9506-2)及ISO/IEC8802-3的映射[S]
- [7] 宋丽君,王若醒,狄军峰,等. GOOSE 机制分析、实现及其在数字化变电站中的应用[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(14):31-35
- [8] 陈敏. OPNET 网络仿真[S]