

智能变电站 GOOSE 通信网实时性分析

范荣全¹ 肖红¹ 李琪林²

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

摘要 GOOSE 是 IEC 61850 中定义的一种通用变电站事件模型类,对于实现设备间的互操作具有重要的意义。随着符合 IEC 61850 的智能变电站技术的快速发展,GOOSE 在智能变电站的应用也日益深入广泛。分析了 GOOSE 通信网的传输机制和在智能变电站中的工作方式,并采用 OPNET 仿真软件对 GOOSE 网的两种拓扑结构的实时性进行了仿真研究和对比分析。

关键词 GOOSE, IEC61850, OPNET, 实时性

Real-time Performance Analysis of GOOSE Communication Network in Smart Substation

FAN Rong-quan¹ XIAO Hong¹ LI Qi-lin²

(Sichuan Electric Power Corporation, Chengdu 610041, China)¹

(Production and Technology Department, Sichuan Electric Power Science and Research Institute, Chengdu 610072, China)²

Abstract GOOSE is the model of generic object oriented substation event defined in IEC 61850. It's very important for implementing co-operation between IEDs in smart substation. With rapid advances of the smart substation technology based on IEC61850, GOOSE has widespread application. We attempted to identify the mode of the transmission mechanism and work flow of GOOSE, and the real-time performances of two kinds of network topologies of GOOSE were evaluated by the OPNET simulation tool as well.

Keywords GOOSE, IEC61850, OPNET, Real-time performance

通用面向对象的变电站事件(GOOSE)是一种实时应用,用于传送智能变电站间隔闭锁信号和实时跳闸信号^[1]。GOOSE 网以高速 P2P(peer-to-peer)通信为基础,替代了传统智能电子设备(IED)之间硬接线的通信方式,为智能变电站逻辑节点之间的通信提供了快速且高效可靠的方法。任意 IED 之间可通过以太网相连,能替订阅方接收数据,还可为发布方向其它 IED 提供数据^[2]。根据 IEC61850 标准的规定,GOOSE 信号的通信延迟应小于 4ms。目前,GOOSE 除了被应用于智能变电站中传送实时跳闸信号、间隔逻辑闭锁、检同期等功能外,基于 GOOSE 的分布式母线保护、分布式备自投、分布式低周减载等功能也已经开始在工程中应用。

1 GOOSE 报文传输机制

GOOSE 网在智能变电站的应用是典型的分布式系统的网络数据分发,所以采用发布/订阅机制而非客户/服务器机制^[3]。但是由于 GOOSE 网也应用于保护跳闸等重要报文,必须在规定时间内将其传送到目的地,最快的要在 4ms 以内,因此其对实时性的要求远高于一般的面向非嵌入式系统;另外 GOOSE 网用于传输跳闸报文、逻辑闭锁等,因此对可靠性的要求也非常高。

1.1 GOOSE 报文过滤机制

在智能变电站中,GOOSE 报文的发送方会以组播方式

发送多个报文,每个报文都是与特定数据相关的,报文头中包含有不同的目标地址;对于接收方,底层网络会收到网络上所有的 GOOSE 报文,其中包括接收方需要的信息和它不需要的信息,所以需要过滤,为了减轻 CPU 的负担,这个过滤的任务一般由网络控制器来完成。

接收方采取订阅的形式来获取需要的 GOOSE 报文,接收方配置了一个 GOOSE 报文目标地址列表,并对网络控制器进行设置,网络控制器收到 GOOSE 报文后就将报文中的目标地址与目标地址列表中的地址作对比,如果该目标地址包含在地址列表中,那么就认为该 GOOSE 报文是接收方订阅的,在 CPU 从网络控制器读取 GOOSE 报文时将报文传送给 CPU。然后接收方会进一步对 GOOSE 报文进行解析^[4-6]。

1.2 GOOSE 报文发送时间间隔

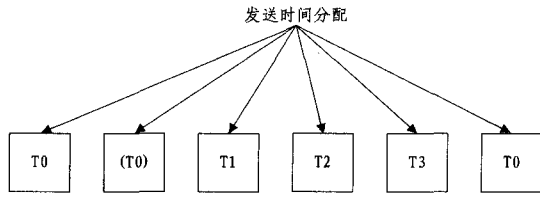
当 GOOSE 传输数据集中的数据出现变位时,装置将以重发报文的方式保证可靠性,重发的规律在没有 GOOSE 事件发生时,GOOSE 报文的发送间隔相对比较长,按固定时间间隔来进行,通常是 1s。但是在发生事件时,数据发生了变化,发送时间间隔就会设置为最小,在此阶段,发送时间间隔会逐渐增大,直到事件状态稳定,GOOSE 报文的发送又变为固定长间隔^[7]。GOOSE 事件发送机制如图 1 所示。

继电器触点的平均动作时间接近 4ms,合理的最高级和次高级报文传输应在 4ms 内。建议采用 0ms, 1ms, 2ms, 4ms

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。

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;李琪林(1973-),男,博士,高工,主要研究方向为智能电网等。

的间隔连续发送4次。非电气量保护信号和普通级信号采取变位传输结合定时发布机制。状态变位时按0ms,1ms,2ms,4ms的间隔连续发送4次。



T0 为无事件状态下,信号重发时间间隔;(T0)为无事件状态下,信号重发时间间隔(因事件影响而缩短);T1 为事件发生时最短重发时间间隔;T2, T3 为达到无事件状态前的重发时间间隔

图1 GOOSE报文发送时间间隔

2 GOOSE网络结点工作方式

智能变电站GOOSE网络主要包括测控装置、保护装置、智能单元、合并器等几种类型的GOOSE结点。GOOSE结点有以下几种工作方式。

2.1 变电站正常运行情况下

- a. 测控装置、保护装置、合并器不发送GOOSE报文;
- b. 与智能单元连接的电气一次设备的位置和状态无变位,智能单元按GOOSE报文稳态的时间间隔发送当前电气一次设备的位置和状态。

2.2 变电站正常运行,变电站平常的一些正常操作

- a. 测控装置接收站控层的操作命令后,按GOOSE报文事件重发的时间间隔向GOOSE网发送操作命令报文;
- b. 保护装置、合并器不发送GOOSE报文;
- c. 智能单元接收来自测控装置的操作命令后再通过电缆接线出口至一次设备,使一次设备的位置和状态发生变位。智能单元按GOOSE报文事件重发的时间间隔发送变位后电气一次设备的位置和状态。

2.3 变电站发生故障的情况下

- a. 测控装置、合并器不发送GOOSE报文;
- b. 保护装置动作,按GOOSE报文事件重发的时间间隔向GOOSE网发送断路器跳闸命令报文;
- c. 智能单元接收来自保护装置的跳闸命令后再通过电缆接线出口至一次设备,使一次设备的位置和状态发生变位。智能单元按GOOSE报文事件重发的时间间隔发送变位后电气一次设备的位置和状态。

3 仿真实验与分析

3.1 仿真环境配置

OPNET是目前主流的网络仿真软件,能为通信网和分布式系统的模拟提供详尽全方位的支持^[6]。因此,本文采用OPNET仿真软件对智能变电站GOOSE网络的星形拓扑和环形拓扑结构的实时性进行仿真对比分析。图2和图3分别为GOOSE网星形和环形拓扑的仿真结构图。

结合智能变电站中结点的工作情况,仿真中主要设定参数如下:

- a. 节点发送GOOSE报文大小:均设置为256Byte;
- b. 节点发送GOOSE报文时间间隔:各节点稳态重发时间间隔为1s,事件变位后按0ms,1ms,2ms,4ms间隔进行事件重发,然后转入稳态重发;

c. 网络带宽:100Mbit/s;

d. 仿真时间:40s;

e. 丢包率:丢包率为0%。

根据智能变电站的工作情况,本文从3个方面对GOOSE网络的性能进行了仿真分析,仿真内容如下:

- a. 变电站正常运行情况下,GOOSE网的性能;
- b. 变电站正常运行,进行正常操作情况下,GOOSE网的性能;
- c. 变电站发生事故情况下,GOOSE网的性能。

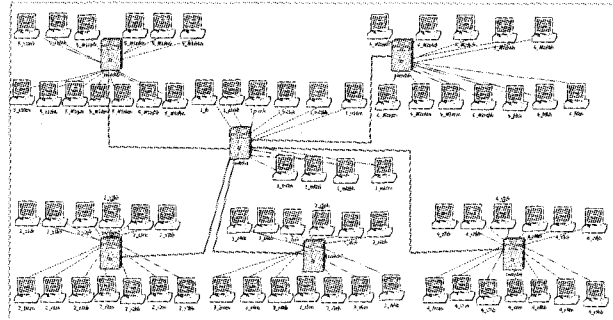


图2 GOOSE网星形拓扑仿真结构图

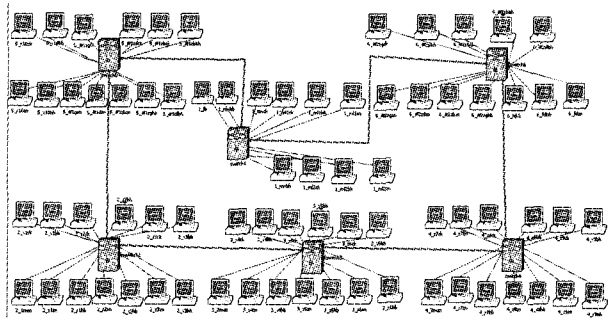


图3 GOOSE网环形拓扑仿真结构图

3.2 仿真实验与分析

3.2.1 场景一:变电站正常运行

在本仿真中,我们分别对GOOSE网星形网络拓扑结构和环形网络拓扑结构的实时性进行仿真对比分析。仿真中各结点发送GOOSE报文的开始时间、持续时间、终止时间均设置为uniform分布。各个智能单元以稳态的时间间隔,即1s,发送GOOSE报文。表1是GOOSE网两种拓扑结构中的智能单元至测控装置的端到端时延。其中存在3种类型的通信,分别是线路设备、母线设备和母联设备。在星形网络拓扑中线路设备和母联设备结点之间的通信是在同一个交换机上进行,而母线设备之间的通信则需跨越两个交换机。

表1 GOOSE网智能单元至测控装置端到端时延

拓扑	线路设备时延(us)		母线设备时延(us)		母联设备时延(us)	
星形	47.1	47.1	47.1	71.7	47.1	47.1
环形	47.1	47.1	47.1	102.5	47.1	47.1

从表1的仿真结果可知,在星型网络拓扑和环形网络拓扑中,处于同一个交换机内的智能单元至测控装置的端到端时延相同,都为47.1us;而母线智能单元与母线测控装置的端到端时延则不相同,环形拓扑结构中的节点时延比星型拓扑结构的节点时延大。这是因为在星形网络拓扑中,母线智能单元与母线测控装置只相隔两个交换机,而环形拓扑中,一些母线智能单元与母线测控装置通信,需要跨越2个、3个及

4个交换机,因此其消耗时延更大,这不适合于GOOSE网对实时性要求高的特点。

3.2.2 场景二:变电站进行正常操作

本仿真中,各个智能单元、测控装置以事件重发的时间间隔,即0ms、1ms、2ms、4ms的时间间隔发送GOOSE报文,且发送GOOSE报文的开始时间、持续时间、终止时间等采用的是uniform分布,具有一定的随机性。表2和表3分别是GOOSE网中智能单元至测控装置的时延和测控装置至智能单元的时延。

表2 GOOSE网智能单元至测控装置时延

拓扑	线路设备时延(us)		母线设备时延(us)		母联设备时延(us)	
星形	47.1	47.1	47.1	71.7	47.1	47.1
环形	47.1	47.1	47.1	108.6	47.1	47.1

表3 GOOSE网测控装置至智能单元时延

拓扑	线路设备时延(us)		母线设备时延(us)		母联设备时延(us)	
星形	47.1	47.1	71.7	71.7	47.1	47.1
环形	47.1	47.1	96.3	102.9	96.3	47.1

从表2和表3可以看出,星形网络拓扑结构与环形网络拓扑结构中,同一个交换机内的智能单元与测控装置的双向通信的端到端时延值相同。但是母线智能单元与母线测控装置的端到端时延,星形网络拓扑的性能要好一些,这仍然是由于环形网络中的母线智能单元与母线测控装置通信需要跨越比星形网络拓扑更多的交换机,传播时延增加,从而导致了端到端时延的增加。另外,与场景一中的仿真结果相比可知,虽然减少发送的时间间隔,但是并没有导致结点之间的端到端时延大量的增加,这是由于GOOSE网的网络带宽是100Mbit/s,而GOOSE报文较小,网络可用带宽充足,网络不会发生拥塞。因此,不会造成端到端时延值的增大,保证了GOOSE网的实时性。

3.2.3 场景三:变电站发生事故

本仿真中,各个GOOSE结点以事件重发的时间间隔,即0ms、1ms、2ms、4ms的时间间隔发送GOOSE报文。对仿真中各结点发送GOOSE报文的时间分布设置为uniform分布,对GOOSE网的星形网络拓扑结构和环形网络拓扑结构中各个结点的端到端时延的变化情况进行对比分析。

表4和表5分别是GOOSE网中保护单元至智能单元和

智能单元至测控装置的端到端时延。

表4 GOOSE网保护装置至智能单元时延

拓扑	线路设备时延(us)		母线设备时延(us)		母联设备时延(us)	
星形	56.6	57.6	57.1	72.0	72.0	47.3
环形	47.3	58.2	50.1	96.7	127.6	47.3

表5 GOOSE网智能单元至测控装置时延

拓扑	线路设备时延(us)		母线设备时延(us)		母联设备时延(us)	
星形	47.3us	47.2us	49.1us	72.0us	53.2us	47.4us
环形	47.1us	47.1us	49.4us	105.0us	47.3us	47.4us

从表4和表5可以看出,在GOOSE网星形网络拓扑与环形网络拓扑中,同一个交换机内的保护装置至智能单元与智能单元与测控装置通信的端到端时延值很接近。同时,环形网络中的母差保护装置至母线智能单元与母线智能单元至母线测控装置的通信需要跨越比星形网络拓扑更多的交换机,传播时延与星形网络拓扑相比较较大。

结束语 本文分析了GOOSE网的传输机制和在智能变电站中的工作方式。采用OPNET仿真软件对GOOSE网的星形网络拓扑和环形网络拓扑中各结点通信的端到端时延进行了对比分析,仿真结果表明,GOOSE星形网络拓扑较环形网络拓扑实时性更好,且两者的网络时延都在150us内,具有非常好的实时性。

参考文献

(上接第439页)

者需要更高的处理性能,可以使用Xilinx公司提供的硬核处理器。设计中采用IP复用技术,而不像传统的设计那样,在更改其中某部分设计时需要更改整体设计,这使得修改和维护更加方便、更加高效、节约成本和开发时间。

该平台可以应用在许多领域,如远程监控、远端视频显示,可以根据实际的项目需求进行修改、升级、设计和开发特定的应用。

参考文献

[1] 何宾. EDA原理及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2009
 [2] 何宾. 片上可编程系统原理及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2010
 [3] 胡龙腾,田雨. 基于LwIP的嵌入式以太网系统的设计与实现

[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] GB/T 13729-2002 远动终端设备[S]
 [3] 孙军平,盛万兴,王孙安. 基于以太网的实时发布者/订阅者模型研究与实现[J]. 西安交通大学学报,2002,36(12):1299-1302
 [4] 王松,黄晓明. GOOSE报文过滤方法研究[J]. 电力系统自动化,2008,32(19):54-57
 [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] 柯善文,刘曙光,何能,等. 关于变电站GOOSE报文传输的研究[J]. 继电器,2007,35:308-310
 [7] 徐成斌,孙一民. 数字化变电站过程层GOOSE通信方案[J]. 电力系统自动化,2007,31(19):91-94
 [8] 陈敏. OPNET网络仿真[S]

[J]. 数字技术与应用,2010,24(8):59-61
 [4] 章智慧,白瑞林,沈宪明. LwIP协议栈在SOPC系统中的实现[J]. 计算机工程与设计,2007,28(6):1378-1380
 [5] 江晋剑. 基于SOPC构建的嵌入式Web服务器设计[J]. 自动化与仪器仪表,2009,3:22-26
 [6] XILINX. Processor Local Bus(PLB v4. 6)(v1. 05. a) [P/OL]. http://www.xilinx.com,2010
 [7] XILINX. MicroBlaze Processor Reference Guide [P/OL]. http://www.xilinx.com,2009
 [8] XILINX. OS and Libraries Document Collection [P/OL]. http://www.xilinx.com,2009
 [9] XILINX. LwIP Library(v3. 00. a) [P/OL]. http://www.xilinx.com,2008
 [10] Tanenbaum A S. 计算机网络(第四版)[M]. 潘爱民,译. 徐明伟审. 北京:清华大学出版社,2004