

GOOSE 实时通信的分析与实现

李小滨, 韩明峰

(烟台东方电子信息产业股份有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要: GOOSE 是 IEC61850 对数字化变电站的重要贡献, 其出发点是变电站自动化功能的分布式实现。通过深入分析 IEC 61850 标准针对 GOOSE 实时性所作的规定, 提出了全方位实现 GOOSE 实时性的观点, 即在确保 GOOSE 服务正确可靠的前提下, 在发送端、交换机和接收端分别采取措施尽可能地提高 GOOSE 报文的实时性。分析了在交换机提高 GOOSE 报文传输实时性、在接收端提高 GOOSE 报文处理实时性的原理。提出了 GOOSE 发送端多优先级发送队列的方法, 解决了发送端 GOOSE 报文的延迟性和不确定性问题。

关键词: IEC61850 ; GOOSE 服务模型; 映射方式; 报文优先级

Analysis and realization of GOOSE real-time communication

LI Xiao-bin, HAN Ming-feng

(Yantai Dongfang Electronic Information Industry Ltd, Yantai 264000, China)

Abstract: GOOSE is an important contribution of IEC 61850 to digital substation. The aim of GOOSE is to realize the distributed substation automation functions. A point of view is advanced by analyzing the real-time communication of IEC 61850 GOOSE service mode, that we should realize real-time GOOSE from all aspects including GOOSE sender, receiver and switch. The principle of enhancing GOOSE packet transmit speed on switch and enhancing GOOSE packet processing speed on receiver are analyzed. Multiple priority sending queues method on sender is advanced, which resolves the delay and uncertainty of GOOSE packet.

Key words: IEC61850; GOOSE service model; mapping pattern; the priority of packet

中图分类号: TM63; TM73 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)10-0059-04

0 引言

IEC61850 所支持的互操作性是指自动化功能模块之间的互操作性, 与常规的自动化装置之间的互操作性存在差别。功能模块之间的互操作性是一种更高要求的互操作性, 包括装置之间的互操作性。实现自动化功能之间的互操作性将成为产品应用 IEC61850 的最大价值^[1]。IEC61850 的一个基本方法是将各种应用分解为最小的单元, 然后利用单元间的通信协调完成整个应用^[2]。GOOSE 的出发点是功能的分布式实现, 它以高速 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, 为逻辑节点之间的通信提供了快速且高效可靠的方法。任一 IED 与其它 IED 通过以太网相联, 可以为订阅方接收数据, 也可以为发布方向其它 IED 提供数据^[3]。

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 4 ms。在保证

GOOSE 正确可靠的前提下, 应在发送端、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。

1 IEC61850 实现 GOOSE 实时性采取的手段

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。

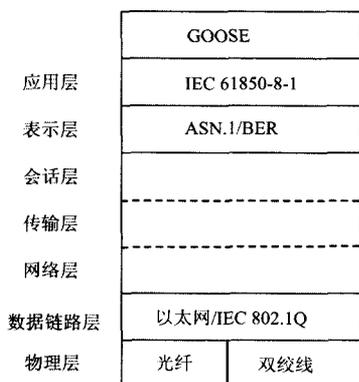


图1 GOOSE 通信协议栈

Fig.1 GOOSE communication protocol stack

1.1 应用层

抽象语法记法 1 (ASN. 1) 是定义数据结构和协议格式表示方法的通用语言, 并且广泛应用于定义应用层协议。GOOSE 报文的 PDU 格式规范如下:

```
IEC61850 DEFINITIONS ::= BEGIN
IMPORTS Data FROM ISO-IEC-9506-2
IEC 61850-8-1 Specific Protocol ::= CHOICE {
gseMngtPdu [APPLICATION 0] IMPLICIT GSEmngtPdu,
goosePdu [APPLICATION 1] IMPLICIT IECGoosePdu,
}
IECGoosePdu ::= SEQUENCE {
gocbRef [0] IMPLICIT VISIBLE-STRING,
timeAllowedtoLive [1] IMPLICIT INTEGER,
.....
.....
allData [11] IMPLICIT SEQUENCE OF Data
security [12] ANY OPTIONAL,
}
.....
END
```

此定义中, DEFINITIONS, IMPORTS, CHOICE, IMPLICIT 和 SEQUENCE 等均为 ASN. 1 的专用术语, 对上述 PDU 的抽象表述格式分析如下:

(1) 由 DEFINITIONS 可知本数据结构的模块名称是 IEC61850。

(2) IMPORTS 构件指出此模块引用了 ISO-IEC-9506-2 中定义的 Data 参数, 这从 IECGoosePdu 定义的元素 allData 中也能得到印证。元素 allData 所反映的信息在 GOOSE 报文中十分重要, Data 参数中包含了丰富的数据类型, 如布尔型, 整型, 比特序列等, 这些数据类型选择可由用户自定义。这也是在定义 GOOSE 方面, IEC61850 较之

UCA2.0 的一个灵活之处。

(3) 由于最上一级的结构使用了 CHOICE 类型, 对于 GOOSE 报文传输, 需选择变量 goosePdu, 其标志名称是 IECGoosePdu, IECGoosePdu 的格式由 13 个元素序列组成, 分别是 gocbRef、timeAllowedtoLive 等, 这 13 个元素所代表的信息是 GOOSE 报文的主要内容。

1.2 表示层

表示层的作用是对应用层的 PDU 编码以适合在以太网上进行传输, GOOSE 报文传输编码遵循 ASN. 1 的基本编码规则 (BER)。编码是由 3 个可变长部分组成的 3 元组: 数据类型的标签 (TAG)、数据长度 (LENGTH) 和数据值 (VALUE)。它们通常被称为 TLV3 元组, 其中类型标识符占 1 个字节, 其第 8 比特和第 7 比特表示标签类型, 标签分为四类: 通用类 (Universal)、应用类 (Application)、上下文类 (Context-specific) 和专用类 (Private)。第 6 比特表示抽象数据类型的格式, 分为简单的 (Simple) 和复杂的 (Structured), 上述 GOOSE 报文的协议数据格式规范中, VISIBLE STRING 和 INTEGER 等均是简单类型, 而 SEQUENCE 和 SEQUENCE OF 等均是结构类型。如果数据类型是结构化的, 在 BER 编码时, 值的组成部分又包含 TLV3 元组。

相对于 IEC 61850-9-1 SAV 报文的编码, GOOSE 报文的编码实现要复杂一些, 因为 GOOSE 报文协议数据单元格式中标签类型既有应用类 (如 goosePdu), 又有通用类 (如 IECGoosePdu 和 gocbRef 等), 而数据类型既有结构类型, 又有简单类型。需要注意的是, 报文协议数据单元格式中专用术语 IMPLICIT 的引进可以带来效率更高的编码。

1.3 数据链路层

此层遵循 ISO/IEC 8802.3 协议 (即以太网协议), 格式如图 2 所示, 对 GOOSE 报文和 SAV (采样值) 报文传输作了如下修改:

(1) 报文的以太网类型 (Ethertype) 由 IEEE 著作权注册机构进行注册, 是独一无二的, 如 SAV 报文的以太网类型是 0x88BA, GOOSE 报文对应 0x88B8, 而抽象通信服务接口 (ACSI) 的核心服务所映射报文一般都是 IP 包, 其以太网类型是 0x0800。这种独一无二的以太网类型有利于接收方对 SAV 报文和 GOOSE 报文的解码过程优化。

(2) 提供报文传输的优先级服务 (IEEE802.1Q), 如规定过程总线上, SAV 报文和 GOOSE 报文默认优先级为 4, 而其它报文优先级一般为 1, 从而保证过程总线数据通信时, SAV 报文和 GOOSE 报文优先发送出去。

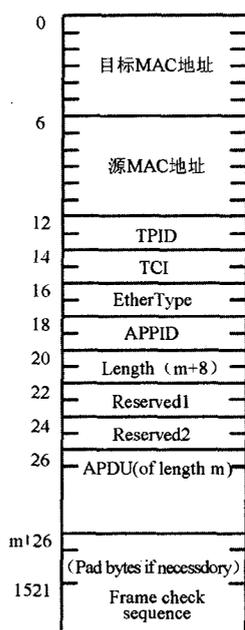


图 2 GOOSE 帧格式

Fig.2 GOOSE frame structure

(3) 分配特定范围的组播地址。由于 SAV 报文和 GOOSE 报文一般都是组播包，有多个接收者，而这些报文的接收者一般都在同一局域网内，通过分配 SAV 报文和 GOOSE 报文各不相同的特定范围物理组播地址，并采取在介质访问控制(MAC)层的硬件地址过滤方法，可提高组播报文的接收性能。

(4) VLAN (Virtual Local Area Network) 即虚拟局域网，是一种通过将局域网内的设备逻辑地而不是物理地划分为一个个网段从而实现虚拟工作组的新兴技术。一个 VLAN 内部的广播包不会转发到其它 VLAN 中，从而有助于控制流量。

2 交换机的解决方法

以上论述的是 IEC 61850 标准针对 GOOSE 实时性所作出的一些规定，主要包括协议栈、报文优先级、VLAN 等几个方面。如图 3 所示，在网络交换机这一层引入报文优先级能显著提高 GOOSE 报文的实时性^[4, 7]。

按照 IEC802.1D 的算法，如果一个数据包找不到路由，交换机就会将该数据包向所有其它的端口发送，这样就会极大地浪费带宽，组播包在基于链路层的交换机中就是以广播的形式转发到各端口的。如果配置了 VLAN，对于组播包，交换机只会将此数据包转发到属于该 VLAN 的其它端口，而不是所有的交换机端口。这样就将数据包限制在一个 VLAN

内，节约了带宽，有利于提高 GOOSE 的实时性。

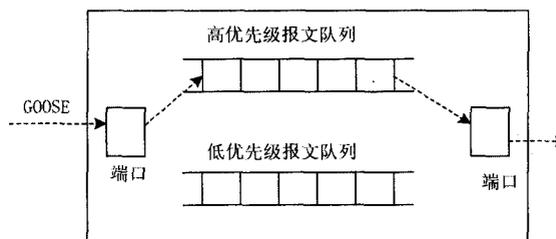


图 3 基于优先级的交换机报文处理方式

Fig.3 Process of switch packet based on priority

3 接收端的解决方法

对于 GOOSE 报文的订阅端，协议栈的映射方式有助于提高 GOOSE 报文解码的实时性，但产品研制者还应采取一些措施使 GOOSE 报文处理的优先级高于其它报文^[6]。一般是合理安排中断和网络任务的功能，在网卡接收中断级将实时性报文和非实时性报文区别开来，以事件驱动的方式通知各自的处理任务。对于普通报文提交给操作系统的网络任务进行协议处理，对于 GOOSE 等优先级较高的报文在高优先级的任务中处理。基于优先级的抢占式任务调度策略会优先调度高优先级的任务运行。

文献[5]论述了 GOOSE 报文捕获分析工具的开发，但对 GOOSE 报文的详细捕获条件论述较少。由于报文经过交换机时有可能去掉帧结构中的 TPID 和 TCI，并且图 2 中的 EtherType 域既可能是报文长度，也可能是报文类型，因此 GOOSE 报文或者采样值报文的过滤条件应严格通用，设计如下：

(1) 对于网卡收上来的每一帧数据，首先判断其第 12 和 13 两字节是否为 0x8100。如果是，则表明报文中含有 4 字节（第 12 至 15 字节）的 TPID 和 TCI，这些优先级和虚拟局域网方面的规定对接收端的解码已经没有意义了，跳过这 4 个字节，获取 EtherType 域，否则源地址后的两个字节就是 EtherType 域。

(2) 判断 EtherType 域是否小于 0x0600，如果是，则表明这是一个普通以太网帧，此 EtherType 域表示的是报文长度，其后跟着的是链路层协议数据单元。如果不是，则表明此 EtherType 域表示的是报文类型，对于 GOOSE，此域应为 0x88B8。

4 发送端的解决方法

4.1 发送驱动模式

以主流的嵌入式实时操作系统 NUCLEUS 在 NE2000 网卡下的发送驱动模式为例，其发送框架如

图 4 所示。

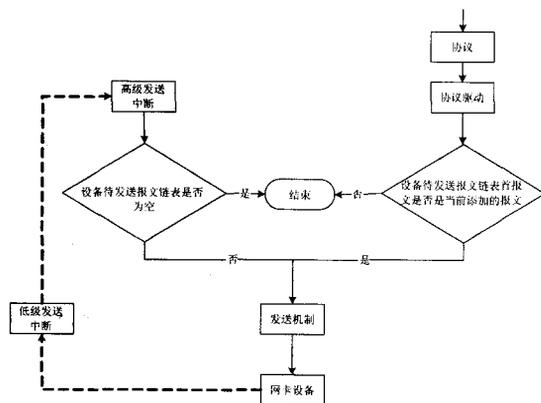


图 4 网络发送驱动模块

Fig.4 Network transmit driver module

NUCLEUS 将中断区分为低级中断和高级中断。低级中断只做很少的必要性的工作，以减少中断服务程序运行所占的时间，低级中断的一个重要功能是激活相应的高级中断服务程序。高级中断程序运行在任务级，并且是最高的几个优先级，用于数据处理等费时工作。设备描述表是网卡驱动程序的重要数据结构，存放网卡硬件的寄存器信息、待发送报文链表头指针等。发送流程描述如下：

(1) 当网卡发送完一帧后产生发送中断，在低级中断处理程序中将该网卡的设备描述表指针存入一个环形缓冲区中，环形缓冲区的容量以系统定义的最大网卡设备数为限，是低级中断和高级发送中断之间的共享数据结构。接下来激活高级发送中断。

(2) 高级发送中断从环形缓冲区中取出一个设备描述表指针，将该设备的发送缓冲区链表首报文缓冲区释放，这个报文应该是刚从网卡硬件发送出去的报文。如果此时发送报文缓冲区队列不为空，则启动发送机制。

(3) 发送机制：从发送缓冲区链表首部摘取一个报文，将其复制到网卡硬件发送缓冲区，对网卡硬件进行相关设置，启动硬件发送。

(4) 协议驱动被协议层所调用，是发送数据的源泉。应用层的待发送报文经过协议栈的层层封装处理，最后以以太网帧的格式按先进先出的顺序存放于设备描述表。协议驱动检查发送队列链表，如果发现当前添加到发送链表里的报文就是首报文，则按照上述 (3) 启动发送机制。

4.2 单级发送队列对实时应用的影响

由于每个网卡设备描述表中只有一个发送队列链表，是单级的，实时报文和非实时报文都在其中。作为高层协议的应用层，在装置允许的情况下

其报文最大长度可以定义为很大，这样有利于目录服务、文件传输等要求大数据量的数据通信。一个几万字节的应用报文将对应几十个以太网帧，实时报文有可能被严重滞后，这种滞后带有不确定性，无法准确预知在实时性报文之前有多少非实时性报文在等待发送，这就从根本上违背了 GOOSE 服务对实时性的确定性要求。

4.3 多优先级发送队列模式

引入多级发送队列将从根本上解决实时性报文的发送延迟问题。这种模式下，每个网卡设备描述表中的待发送报文队列将按照优先级设置为多个，优先级的设置对应于报文的分类，GOOSE 报文、采样值报文具有强实时性的特点，应放入高优先级的待发送报文队列。发送流程改进如下：

(1) 当网卡发送完一帧后产生发送中断，在低级中断处理程序中将该网卡的设备描述表指针存入一个环形缓冲区中，接下来激活高级发送中断。

(2) 高级发送中断从环形缓冲区中取出一个设备描述表指针，根据设备描述表的记录，确定刚从该网卡硬件发送出去的报文是哪个优先级队列的，将该优先级队列的首报文缓冲区释放。按照优先级从高到低的顺序检查发送队列，如果某个发送队列不为空，则启动发送机制。

(3) 发送机制：从发送缓冲区链表首部摘取一个报文，将其复制到网卡硬件发送缓冲区，对网卡硬件进行相关设置，启动硬件发送，同时把当前的发送链表头指针记在当前的设备描述表中。

(4) 协议层调用协议驱动，协议驱动根据报文的优先级将报文放入不同的发送优先级队列。如果刚加入的报文是所在优先级队列的唯一报文，并且其它优先级队列都没有报文，则如 (3) 启动发送机制。

5 结语

本文从 GOOSE 的发送端、接收端和网络交换机全面论述了提高 GOOSE 实时性的方法，提出的 GOOSE 发送端多优先级发送队列方法通过修改网络驱动程序实现。实际上，过程层的周期性采样值传输也有相应的实时性要求，即 3~10 ms，其实时性稍弱于具有突发特性的 GOOSE，但实现方法类似于 GOOSE。如果在接收端将采样值接收任务的优先级设置低于 GOOSE 接收任务的优先级，在发送端将采样值报文的优先级设置低于 GOOSE 报文的优先级，则能达到分别实现不同实时性优先级的效果。

(下转第 69 页 continued on page 69)

器之间通过 IEC 61850-9-1 通信,从来自合并器的 80 点采样值中以整点抽取 40 点,然后用本文所述算法进行测量计算,测量精度完全符合国标要求,效果良好。

参考文献

- [1] 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 Xiang,ZHANG Pei-chao. Main Features and Key Technologies of Digital Substation[J].Power System Technology,2006,30(23):67-71.
- [2] GB/T 20840.8-2007 互感器 第 8 部分:电子式电流互感器[S].
- [3] GB/T 13729-2002 远动终端设备[S].
- [4] 周斌,鲁国刚,黄国方.基于线性 Lagrange 插值法的变电站 IED 采样值接口方法[J].电力系统自动化,2007,31(3):86-90.
ZHOU Bin,LU Guo-gang,HUANG Guo-fang.A Sampled Values Interface Method for Substation IED Based on the Linear Lagrange Interpolation Algorithm[J].Automation of Electric Power Systems,2007,31(3):86-90.
- [5] 曾院辉,李延新.一种软件频率跟踪方法.电力系统自动化[J].2005,29(21):92-94.
ZENG Yuan-hui,LI Yan-xin. Method of Software
- Frequency Tracking[J].Automation of Electric Power Systems,2005,29(21):92-94.
- [6] 磨少清,李啸骢.一种高精度的改进傅立叶测频算法[J].电力系统自动化,2004,28(13):93-96.
MO Shao-qing,LI Xiao-cong.An Improved High-accuracy Algorithm for Frequency Measurement Based on Fourier Transform[J].Automation of Electric Power Systems,2003,27(12):48-49,54.
- [7] 卜广金,戴静,李明.基于频率跟踪的定频采样测量算法[J].电力自动化设备,2007,27(4):68-70.
BU Guang-jin,DAI Jing,LI Ming. Fixed Frequency Sampling Measurement Based on Frequency Tracing[J].Electric Power Automation Equipment,2007,27(4):68-70.

收稿日期:2008-07-04; 修回日期:2008-10-08

作者简介:

王若醒(1972-),男,硕士,高工,主要从事变电站自动化研究开发工作;E-mail: ruoxingW@xjgc.com

贺要锋(1972-),男,工程师,主要从事继电保护运行管理工作;

唐云龙(1976-),男,硕士,主要从事继电保护及变电站自动化研究开发工作。

(上接第 62 页 continued from page 62)

参考文献

- [1] 张结.应用 IEC61850 实现产品互操作性的思考[J].电力系统自动化,2005,29(3):90-94.
ZHANG Jie.Study on the Interoperability Implementation of the Products by Using IEC 61850[J].Automation of Electric Power Systems,2005,29(3):90-94.
- [2] IEC 61850 Communication Networks and Systems in Substations[S].2004.
- [3] 殷志良,刘万顺,杨奇逊,等.基于 IEC 61850 的通用变电站事件模型[J].电力系统自动化,2005,29(19):45-50.
YIN Zhi-liang,LIU Wan-shun,YANG Qi-xun, et al. Generic Substation Event Model Based on IEC 61850[J].Automation of Electric Power Systems,2005,29(19):45-50.
- [4] 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.
FAN Jian-zhong,MA Qian-li.GOOSE and Its Application[J].Automation of Electric Power Systems,2007,31(19):85-90.
- [5] 范建忠,马千里.基于 WINPCAP 的 GOOSE 报文捕获分析工具开发[J].电力系统自动化,2007,31(23):52-56.
FAN Jian-zhong,MA Qian-li.Development of a GOOSE Packet Capture and Analysis Tool Based on WINPCAP[J].Automation of Electric Power Systems,2007,31(23):52-56.
- [6] 段吉泉,段斌.变电站 GOOSE 报文在 IED 中的实时处理[J].电力系统自动化,2007,31(11):65-69.
DUAN Ji-quan,DUAN Bin.Real-time Processing of GOOSE Message in Substation[J].Automation of Electric Power Systems,2007,31(11):65-69.
- [7] 徐成斌,孙一民.数字化变电过程层 GOOSE 通信方案[J].电力系统自动化,2007,31(19):91-94.
XU Cheng-bin,SUN Yi-min.A Communication. Solution of Process Layer GOOSE in Digitized Substation[J].Automation of Electric Power Systems,2007,31(19):91-94.

收稿日期:2008-02-25; 修回日期:2009-03-18

作者简介:

李小滨(1967-),男,博士,高级工程师,主要研究方向为变电站自动化系统、高压保护等;

韩明峰(1973-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向为实时嵌入式操作系统、变电站自动化系统。E-mail: hanmingfeng@dongfang-china.com