

智能配电网GOOSE通信机制的研究与实现

IEC 61850标准因其良好的互操作性等优点，成为了智能配电网事实上的标准。作为IEC 61850最重要的报文之一，GOOSE主要实现配电网自动化设备开关状态和操作命令等重要实时信号的交互。研究配电网智能电子设备GOOSE通信的机制与实现，具体介绍了GOOSE通信的核心模块，进而通过搭建软硬件通信测试平台进行通信测试，使用报文分析软件捕捉和分析网络中的GOOSE报文，证明所开发的GOOSE通信模块达到了预期的功能要求。

欧郁强/广东电网有限责任公司江门供电局

林超雄/广东电网有限责任公司江门蓬江供电局

0 引言

IEC 61850作为电力自动化领域最全面的标准，从最初主要面向变电站领域，逐步扩展到配电网、风能和分布式能源等多个领域，已成为了智能配电网自动化协议的事实标准。

当前在电力领域逐步开展IEC 61850在配电网自动化领域的学术研究与工程实践。文献[1]主要从理论分析层面，阐述了IEC 61850在配电网应用的可能性以及优点；文献[2]以IEC 61850标准为基础，研究了配电自动化系统的通信需求和信息模型等理论基础；文献[3]提出了基于IEC 61850配电终端即插即用技术中的几个关键问题及其解决方法，但没有深入具体的实现层面；文献[4]针对配电网DTU装置，介绍了IEC 61850建模情况，但没有深入研究通信报文具体实现；文献[5]针对配电网成套开关，研制出基于IEC 61850的状态监测系统，状态监测智能电子设备（Intelligent Electronic Device, IED）发出的配电网开关告警信息可通过开出节点告警方式或GOOSE报

文方式与DTU进行信息互动，但没有详细阐述GOOSE实现的技术细节。

目前，IEC 61850在配电网领域的应用研究还处于初步阶段，且缺少GOOSE等重要报文在配电网具体应用的研究。因此，本文将重点研究智能配电网GOOSE通信机制，具体阐述相关的实现技术细节和难点。在基于自主研发的嵌入式保护测控装置上实现适用于配电网的GOOSE通信模块。

1 GOOSE通信原理

图1为符合IEC 61850标准的智能配电网通信架构，主要由配电主站、配电子站、配电终端和通信网络组成。配电主站配备MMS通信接口与配电子站通信，实现全局的数据采集、处理和存储，以及人机交互等各种高级应用。配电子站与配电终端，以及不同配电终端之间，则通过GOOSE通信进行交互，实现保护、测量和控制等馈线自动化功能。具体来说，配电子站IED（或配电终端FTU）通过订阅GOOSE通信网络上的GOOSE报文以实时监控馈线上所有断路器、开关的状态，同时将跳合闸、闭锁

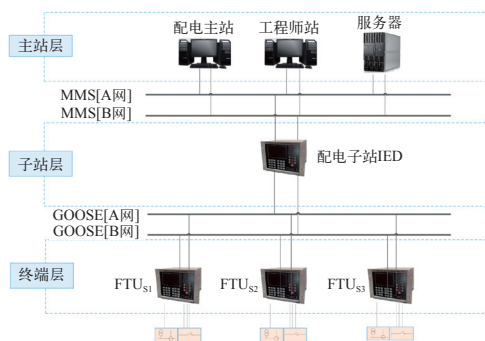


图1 智能配电网通信架构



欧郁强/高级工程师

关键词/Keywords

IEC 61850 ·
智能配电网 ·
变电站事件 ·
通信机制 ·

等控制命令以GOOSE报文形式发送到GOOSE通信网络，从而实现网络化控制。

1.1 GOOSE通信服务映射

GOOSE在IEC 61850中属于快速报文传输服务，主要用于传输开关设备状态等关键的实时报文。IEC 61850规定其报文传输的最大延时为4 ms。为了达到这一延时要求，IEC 61850在定义GOOSE通信服务的实现机制时，对OSI模型以及TCP/IP协议栈进行了精简，通过去除传输层和网络层降低报文处理过程的耗时，从而保障数据的高度实时性。对应上述GOOSE通信服务映射的报文发送过程如下：GOOSE通信服务内容采用ASN.1语法规则进行编码，形成GOOSE应用层协议数据单元GOOSE PDU，直接映射至数据链路层和物理层进行传输。相对比TCP/IP的通信方式，这种传输方式避免了中间多个协议层次的编码耗时，如图2所示。

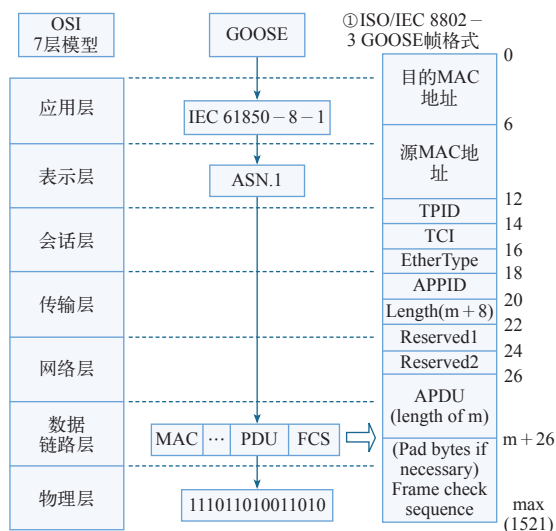


图2 GOOSE通信服务映射及其帧格式

1.2 GOOSE传输机制

开放式系统互联（Open System Interconnect, OSI）模型中传输层、网络层作用在于保证传输的可靠性，GOOSE通信为了弥补这二者缺失带来的可靠性降低，定义了快速重发以及链路通断自检等机制来增强可靠性。

GOOSE报文的快速重发机制如图3所示。正常

没有发生任何开关状态变位的情况下，GOOSE报文按照 t_0 的时间间隔不断重发，重发报文中的事件状态序号StNum不变，事件序列号SqNum则依次加1。其中 t_0 称为心跳时间间隔，按照 t_0 时间间隔发送的报文成为心跳报文。当开关状态发生变位事件时，事件状态序号StNum加1，SqNum置0，同时马上发送一帧对应开关状态变位后值的GOOSE报文，随后按时间间隔 t_1 发送第二帧和第三帧，按时间间隔 t_2 发送第四帧，按时间间隔 t_3 发送第五帧，直到报文发送间隔增长值心跳时间 t_0 后以心跳报文方式继续发送，一般时间间隔以翻倍的方式增长。

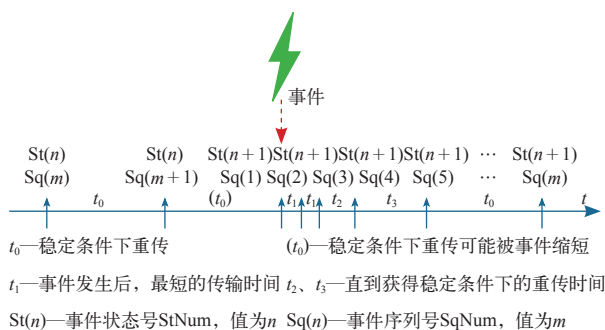


图3 GOOSE报文传输机制

上述报文传输过程中，每个GOOSE报文中的报文允许生存时间都设置为该报文发送间隔的两倍。如果GOOSE报文的接收方在两倍报文生存时间内没有收到下一帧GOOSE报文，那么意味着通信链路存在问题，GOOSE通信需要中断复位，这就是GOOSE通信的链路通断自检机制。

通过以上两个机制的配合，GOOSE通信实现了对通信过程以及链路状态的监测，保障了GOOSE等重要报文通信的可靠性和实时性。

2 GOOSE通信模块开发

GOOSE报文直接映射到数据链路层和间隔发送机制的实现，是GOOSE通信模块开发的关键。基于GOOSE通信的通信映射以及传输机制，采用嵌入式开发模式，在自主研发的智能电子装置上进行GOOSE通信模块的设计。GOOSE通信涉及间隔层保护测控设备以及过程层开关设备，因此其通信模块包含保护测控装置端。

2.1 通信模块涉及功能服务

所设计的GOOSE通信模块功能包括:

- 1) 发送跳闸、闭锁和重合闸命令至过程层开关设备或间隔层保护测控设备。
- 2) 接收过程层开关设备或间隔层保护测控设备发来的状态、告警、跳闸、闭锁和重合闸信号。

2.2 GOOSE模块流程

GOOSE报文发送流程如图4所示。GOOSE报文的发送内容是由GOOSE报文控制块GoCB进行控制的,因此在通信发送模块开始运行时候,需要读入该保护测控装置的变电站配置描述语言(Substation Configuration Description Language, SCL)文件并解析出该装置的GoCB信息。随后根据GoCB信息创建GOOSE报文的组织控制结构以及发送控制结构,其中组织控制结构用于GOOSE报文帧格式的组织 and 编码,而发送控制结构则用于控制快速重发以及链路通断自检机制。控制结构创建完成后,生成新的报文重发曲线,用于控制重发的发送间隔。

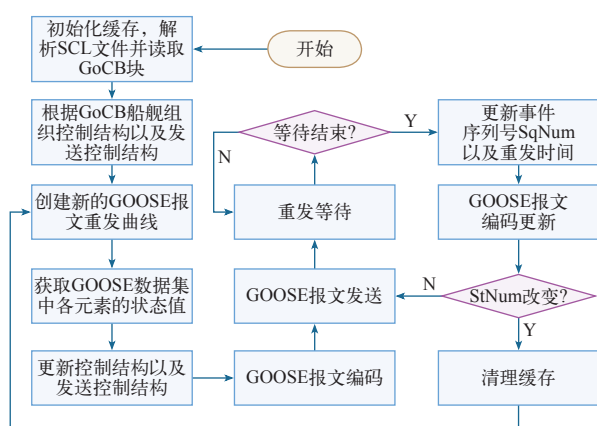


图4 GOOSE报文发送流程

上述报文发送准备工作完成后,进行实质性的报文发送阶段。首先读取GOOSE数据集中各元素的实时状态值,基于GOOSE报文的组织控制结构进行报文编码,最后利用MMS-EASE Lite库提供的SubNetwork接口函数将GOOSE报文直接从表示层映射至数据链路层,从而完成该GOOSE报文的发送工作。随后进入重发阶段,即经一定延时后更新相关序号并重新编码发送。若重发过程中

发现存在状态数据的变位,即StNum发生变化,那么当前报文重发序列失效,重新创建新的报文重发曲线,进行新一轮的报文发送过程。如此往复,即可完成保护测控装置的GOOSE报文发送功能,快速重发以及链路通断自检机制均得到实现。

GOOSE报文接收流程如图5所示。与报文发送模块类似,报文接收模块首先进行准备工作。通过解析保护测控装置对应的SCL文件得到GOOSE控制块,即装置订阅的GOOSE报文信息,并创建GOOSE存储结构用于保存接收到的GOOSE状态信息。随后进入实质性的收包与解析过程,首先需要判断新到来的报文是否是GOOSE报文,若为GOOSE报文,则进行解码判断该报文是否存在装置所订阅的GOOSE信息。若为装置订阅信息且为信息有效,则转存至GOOSE存储结构;否则皆进入下一个报文的接收及判断处理循环。

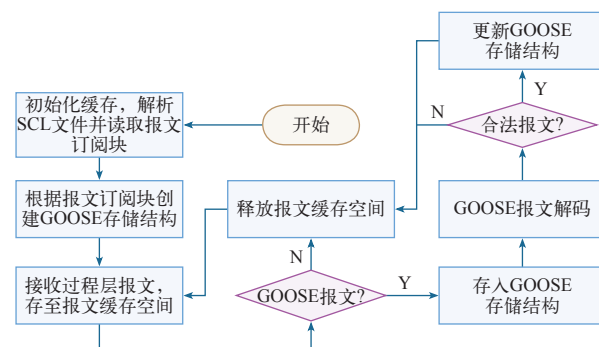


图5 GOOSE报文接收流程

3 GOOSE通信测试

为验证所开发的GOOSE通信模块的有效性,搭建基于智能电子设备、路由器以及通信监控主机进行通信测试。

以GOOSE报文发送为例,具体采用报文分析软件MsgAnalysisSys捕捉过程层通信网络中的GOOSE报文进行分析。软件过滤地址MAC地址为01-0C-CD-01-01-FF的GOOSE报文,观察智能电子设备FTUS1发送的GOOSE报文。

FTUS1的GOOSE报文发送序列如图6所示。正常情况下,每隔2 000 ms发送一帧报文,故心跳时间为2 000 ms。心跳报文序列中StNum不变,SqNum每发一个报文加1。开关在时刻2015年3月

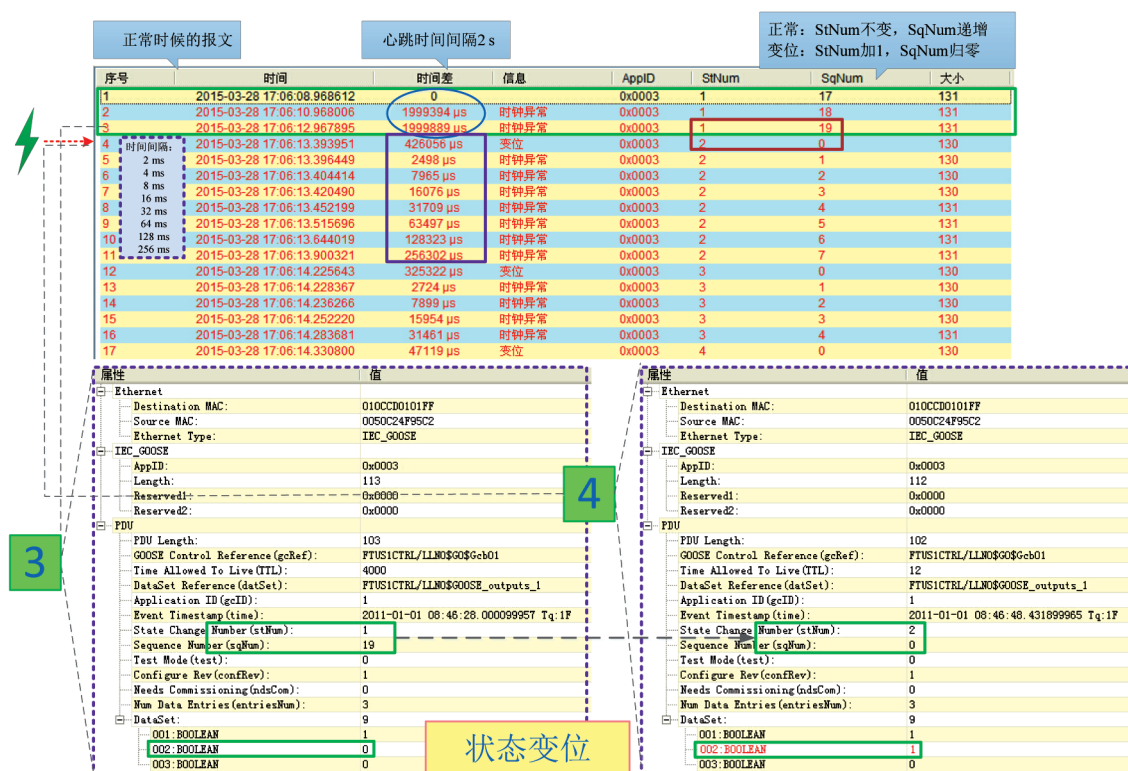


图6 GOOSE报文发送序列以及解析

28日17:06:13.393 951发生状态变位,因此智能电子设备马上发送一帧最新的GOOSE报文。智能电子设备FTUS1检测到状态变位,因此在GOOSE报文中对应项的值由0变为1,同时,StNum加1, SqNum归零。变位的后续报文按照时间间隔2 ms、4 ms、8 ms、16 ms、32 ms、…、1 024 ms发送,最终恢复到2 000 ms的心跳时间。若在恢复到2 000 ms的心跳时间之前又发生变位,则以变位的时刻开始按上述序列重新发送GOOSE报文。

由上述GOOSE报文发送序列分析可知,所开发的模块通信功能正常,GOOSE报文的快速重发以及链路通断自检机制均成功实现。

4 结束语

GOOSE通信作为符合IEC 61850标准的智能配电网通信架构中至关重要的一环,直接影响整个配电网的稳定、可靠运行。本文研究GOOSE通信的机制以及实现,基于嵌入式智能电子设备开发实现了GOOSE模块,通过搭建通信测试平台并结合MsgAnalysisSys网络报文分析软件对GOOSE

通信模块进行验证,报文分析结果显示了所开发GOOSE通信模块达到预期的功能要求。

参考文献

- [1] 韩国政,徐丙垠,张海台. IEC 61850在高级配网自动化中的应用[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(5): 99-102.
- [2] 韩国政,徐丙垠. 基于IEC 61850的高级配电自动化开放式通信体系[J]. 电网技术, 2011, 35(4): 183-186.
- [3] 顾建伟,孔英会,张铁峰,等. IEC 61850体系下的DTU建模与配置[J]. 电力系统通信, 2012, 33(5): 42-46.
- [4] 顾建伟,赵翠然,张铁峰. 基于IEC 61850的配电终端即插即用实现技术研究[J]. 电力系统通信, 2012, 33(4): 31-35.
- [5] 齐昕,张育臣,唐喜,等. 基于IEC 61850的配网成套开关状态监测系统研制[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 109-114.

(收稿日期: 2015-12-29) **EA**