

基于嵌入式平台的变电站告警图形网关关键技术研究是实现

任 浩¹, 韩 伟², 窦仁晖¹, 姚志强¹

(1. 中国电力科学研究院电力自动化研究所, 江苏 南京 210061;

2. 国电南瑞科技股份有限公司, 江苏 南京 210061)

摘 要: 为实现国家电力调度中心提出的告警直传和远程浏览功能, 目前各变电站监控厂家普遍采用基于自身工作站的方式, 这一方式存在资源浪费、改造成本高及设备可靠性较差等问题。本文提出了一种基于嵌入式平台的告警图形网关的方式, 采用工业级产品, 无风扇、无硬盘的嵌入式设备, 从平台裁剪、数据一致性传输、数据规划等方面展开研究, 突破其中的关键技术, 并最终实现了嵌入式 Linux 平台的移植和告警图形网关功能模块的部署, 经测试证明研制出的告警图形网关机完全符合告警直传和远程浏览的功能要求。

关键词: 告警直传; 远程浏览; 平台裁剪; 数据规划

0 引言

为贯彻落实《关于全面推进大运行体系建设的工作意见》及技术支撑要求, 国调中心指出大运行下变电站建设须遵守“告警直传、远程浏览、数据优化、认证安全”的基本原则, 同时发布了《变电站调控信息交互规范》, 规定了变电站应支持告警直传和远程浏览功能。在电力系统运行中, 传统厂站端和调度主站端的数据传输, 只有运动通信一种方式, 依赖远动信息点表, 通过 CDT、101/104 规约传输。而国家电网公司“大运行”体系则要求实现调控一体化, 调度业务与设备监控业务相融合, 由此需要上送大量变电站数据信息, 大幅增加了主站系统数据库的存储和处理负担。为此, 国家电力调度控制中心提出了“告警直传、远程浏览”这一新的数据交互方式并启动了试点, 以解决变电站数据剧增带来的传输和处理问题。

目前, 为实现变电站告警直传和远程浏览功能, 国内主流变电站二次厂家现有方案是在自身后台监控系统的基础上增加 2 台工作站, 通过独立的通道实现告警直传和远程浏览功能, 等同于一套小型的 SCADA 系统, 造成资源浪费、建设成本提高、设备可靠性较差等问题。而且由于依托已有成熟的平台和功能模块, 只需继承性开发或稍加改造即可迅速开发出告警图形网关相关的功能模块, 但在运行环境、资源消耗和管理方式上受到很大限制。为解决这个问题, 本文提出了嵌入式平台的告警图形网关替代现有的工作站的实现方式, 采用嵌入式

Linux 作为告警图形网关的系统平台架构, 按照网关机的功能要求, 对嵌入式 Linux 进行裁剪和优化, 在其上搭建一套最小化的变电站 SCADA 系统, 在此基础上部署与告警图形网关相关的功能模块, 即可实现变电站告警直传和远程浏览的功能, 可以有效提高硬件资源利用效率, 降低改造和维护成本, 提高设备稳定性和可靠性。

1 相关标准和规范

告警图形网关向下通过 IEC61850 规约采集装置数据, 向上以 CIM/G 规范为图形文件标准, 以 DL476 规约为载体将标准告警条文和变电站图形及画面刷新数据上送至调度主站, 下面简单介绍一下所涉及到的标准和规范。

1.1 IEC61850 标准

IEC61850 标准统一了变电站内部的信息模型, 规范了全站所有设备的通信接口。标准定义了变电站监控自动化系统由站控层、间隔层、过程层的三层网络架构组成, 提出了 SCL 信息模型及描述、抽象通信服务接口 (ACSI)、通信服务映射等技术, 实现了设备间的互操作和全站功能的可扩展性。

IEC61850 标准按面向对象的统一建模思想将智能设备和系统的功能数据按照逻辑设备、逻辑节点、数据对象、数据属性的方式以树形结构来组织和构建, 形成了各种 SCL 模型。SCL 模型是智能变电站的主要信息模型, 主要体现在 ICD、SSD、SCD、CID 这四种模型文件中。其中, ICD 文件即 IED 能力描述文件 (IED Capability Description), 该文件描

述了 IED 提供的基本数据模型及服务，但不包含 IED 实例名称和通信参数，俗称装置 IEC61850 模型文件；SSD 文件即系统规格描述文件（System Specification Description），该文件描述了变电站一次系统结构以及相关逻辑节点，SSD 文件的内容包含在 SCD 文件中；SCD 文件即全站配置描述文件（Substation Configuration Description），该文件描绘全站所有 IED 的实例配置和通信参数、以及变电站一次系统结构，它由系统集成厂家完成，应包含版本修改信息，明确描述修改时间、修改版本号等内容，且全站唯一；CID 文件即经过配置的 IED 描绘文件（Configured IED Description），由装置厂家根据 SCD 文件中本 IED 相关配置生成，每个装置对应一个文件。^[1~6]

IEC61850 为了实现设备间的互操作，采用了标准化的通信服务接口技术。在站控层网络，采用了 IEC61850/MMS 标准化通信服务，实现接入测控、保护、PMU、故障录波器、一次设备状态监测等设备和子系统。在站控层或过程层网络，采用 IEC61850/GOOSE 标准化通信服务用于设备之间的实时报文快速传输，实现网络跳闸和设备之间的联闭锁。在过程层网络，采用 IEC61850-9-2 标准化的采样值传输通信服务，实现采样量测量的网络传输。

1.2 DL476 标准

DL476 是电力系统实时数据通信应用层协议，描述了数据格式、控制序列及服务原语，用于电力系统调度（控制）中心之间以及调度（控制）中心与厂站之间的实时数据通信，许多电力实时系统之间数据传输采用了该协议，为我国电力系统数据通信的建设发挥了重要作用。协议按照实现的协议数据单元，分为 0 型规程和 I 型规程，一般简单的传输实时信息，按照实现 0 型规程即可满足要求。^[7]

基本协议 APDU 格式如图 1 所示。

报 头	6 个八位位组
参 数	n 个八位位组

图 1 DL476 基本协议 APDU 格式
报头格式如图 2 所示。

控 制 域	第 1 个八位位组
运 行 模 式	第 2 个八位位组
状 态 标 识	第 3 个八位位组
原 因 码	第 4 个八位位组
参 数 域 长 度 (低)	第 5 个八位位组
参 数 域 长 度 (高)	第 6 个八位位组

图 2 DL476 报头格式

使用该协议进行数据交换时，双方需要约定好传输的信息。要约定数据索引表的编号，然后根据约定的规格，即可实现数据交换。该协议可以传输实时系统所有基本信息，包括模拟量、状态量、电度量、控制信息。数据类型和传输方式也比较灵活，满足了两个实时系统之间传输信息的需要，也得到许多系统厂商的支持，在电力行业实时系统之间传输信息使用非常普遍。

1.3 CIM/G 电网图形描述规范

CIM/G 为电力系统图形描述规范，简称 G 语言，是一种基于标记的遵循 XML 标准的纯文本语言，兼容 SVG 基本图形格式，命名源于 Graph（图形）、Grid（电网）两个英文首字母，寓意于 G 语言用于描述电网系统电力设备的图形格式。G 语言作为电力系统专用图形描述格式，是针对基于 SVG 的公共图形交换格式无法直接表达电力系统和模型一体化的概念等不足，在 IEC61970-453 基于 CIM/XML 的电力系统公共信息平台 SVG 图形交换格式发展起来的，并应用于电力系统的一种新型的图形描述语言。^[8]

G 语言的基本图形要素继承了 SVG 的图形描述特征和语法规则，但摒弃基于 SVG 电力系统图形交换格式通过外部引用定义电力设备和无法共享间隔模板和图元模板的缺点，直接表达电力设备属性，采用电力设备图形对象->间隔模板->电力设备图元多级引用方式，简洁、高效地表达和存取电力设备信息和图形数据。该语言可以直接表达电力设备特征，支持高效地存取电力设备信息和电力图形数据，支持不同系统之间的电力设备信息和电力图形数据的交换。

G 语言组成元素按其类型可分为基本绘图元素和电网图形元素。基本绘图元素用以在目标画布上画出图形元素，包括矩形、圆形、椭圆形、直线、折线和多边形等标准形状；电网图形元素用来表示电力设备，分为图元方式、间隔模板方式和其他方式三大类。图元方式通过引用外部定义的图元表达图形绘制形状；间隔模板方式通过图元和连接线采用不同绘制方式，表达同一类电力间隔模板类型，如二分之三接线、三分之四接线、双母带旁路、单母带旁路、双母接线、单母接线等间隔模板类型，电力图形元素通过引用间隔模板实例化电力间隔设备图形对象；其它方式电网图形元素主要指线状类型电力设备，通过直接存储基本绘图元素和电力领

域属性表达电网设备对象特征,如母线、线路、连接线等。G语言组成元素及其关系如图3所示。

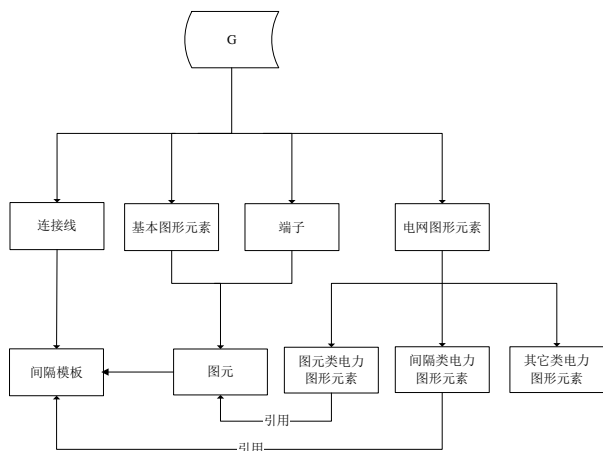


图 3 G 语言组成元素及其关系

2 关键技术研究

基于嵌入式平台的告警图形网关关键技术主要包括为实现在嵌入式设备上的移植而采取的嵌入式 Linux 平台的裁剪和优化技术, 为保证在通信过程中收发双方数据同步一致而采用的基于滑动窗口协议数据传输技术, 为优化和规范告警直传信息而采用的基于数据规划的信息分类分层及关联多事件推理的信号归并技术。

2.1 基于嵌入式 Linux 平台的裁剪技术

Linux 操作系统作为一种桌面系统, 具有较为完整的系统功能和体系结构。在嵌入式系统中, 系统应适应于功能的要求, 为用户提供尽可能完善的服务, 而由于资源受限, 无论是处理器计算能力还是 RAM 或其他存储器都比较“小”, 因此, 对于 Linux 操作系统要进行多方面的进一步裁减和优化。由于嵌入式 Linux 系统一般包括 Linux 内核、文件系统及应用程序三个层次, 因此, 现有的 Linux 系统裁减方法也相应的主要包括三个方面: 内核裁减与定制、系统运行库的裁减、应用程序的裁减等。^[11-12]

由于嵌入式系统是针对具体应用的专用系统，最好的办法还是针对自己的平台的硬件特性和所需要的软件功能来确定内核需要哪些函数功能的支持，通过裁减，去除掉内核不需要的代码，对内核以及函数库进行精雕细凿，即采用面向应用的裁减方法。

Linux 和其他单内核 UNIX 操作系统类似，系统由大量的协同工作的函数调用组成，因此和典型的层次结构固定的程序相比，其内核结构的不固定

性使得很难去理解 Linux 的内核结构，而函数调用关系图则能较好的解决这一问题。函数调用关系图的原理是提取程序工作过程中的各函数之间的调用关系，直观的呈现出整个程序的函数关系结构，帮助我们更好的理解内核结构。这里将应用程序、系统库以及内核抽象出来，构造一个整体的函数调用关系图，然后根据这个关系图删除不必要的代码，最终所得到将是面向应用的嵌入式 Linux 系统。

对于Linux内核，虽然其采用的是单内核模式，不过仍与其他现代操作系统一样具有简单的分层结构。其中内核是Linux的主要部分，但不是唯一的组成成分，其它则还有应用程序层、系统库层、硬件层等，其层次结构图见图4所示。

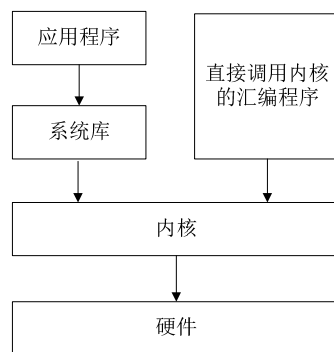


图4 Linux层次结构图

根据 Linux 层次结构图可知，应用程序处于整个结构的最上层，其通过系统的库调用向内核发送服务调用请求，如图 5 所示。

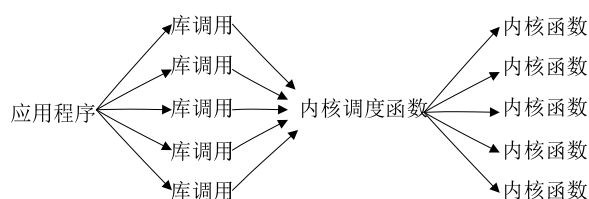


图5 应用程序通过系统库调用内核函数

由于应用程序是通过系统库来调用Linux内核函数的,因此根据系统库函数与内核函数的相互调用关系,提取所需的系统函数,删除不必要的系统函数,即可实现嵌入式Linux的裁剪和优化。

2.2 基于滑动窗口协议的数据传输技术

在告警图形网关传输标准告警字符串、图形文件、画面刷新数据包的过程中,会出现数据包受损、数据包丢失、数据包重复和过早超时等异常情况,如何保证出现上述情况后收发双方数据一致性,本文采用滑动窗口协议解决数据传输产生的可靠性问

题,通过同步可达到流量控制并实现出错恢复,使得能够及时重传出现损坏或丢失的数据,放弃重复传送的数据。

滑动窗口协议的基本原理就是在任意时刻,发送方都维持了一个连续的允许发送的帧的序号,称为发送窗口;同时,接收方也维持了一个连续的允许接收的帧的序号,称为接收窗口。若从滑动窗口的观点来统一看待1比特滑动窗口、后退n及选择重传三种协议,它们的差别仅在于各自窗口尺寸的大小不同而已。1比特滑动窗口协议:发送窗口=1,接收窗口=1;后退n协议:发窗口>1,接收窗口=1;选择重传协议:发送窗口>1,接收窗口>1。^[9~10]

由于1比特滑动窗口方式要为每一个帧进行确认后才继续发送下一帧,大大降低了信道利用率;在后退n协议中,接收方若发现错误帧就不再接收后续的帧,即使是正确到达的帧,这显然是一种浪费。本文采用选择重传协议的滑动窗口方式,可以解决上述信道资源浪费问题,采用的策略是当接收方发现某帧出错后,其后继续送来的正确的帧虽然不能立即递交给接收方的高层,但接收方仍可收下来,存放在一个缓冲区中,同时要求发送方重新传送出错的那一帧。一旦收到重新传来的帧后,就可以原已存于缓冲区中的其余帧一并按正确的顺序递交高层。这种方法称为选择重发(SELECTICE REPEAT),其工作过程如图6所示。显然,选择重发减少了浪费,但要求接收方有足够大的缓冲区空间。

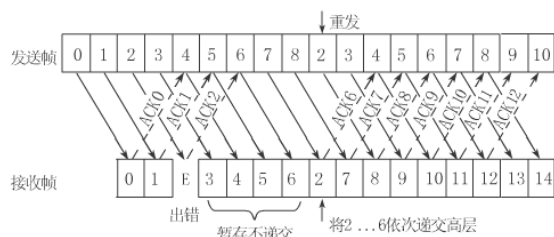


图6 选择重传协议的工作过程

2.3 基于数据规划的告警直传信息分类分层及归并技术

为了优化告警直传上送的大量变电站告警信息,使得调度端运行人员能够快速抓住事故重点,保证准确及时处理异常事故,提高事故异常处理的准确性和快速性,保障电网安全运行,告警图形网关需要对海量的告警信息进行分类分层,从源头上过滤掉监控人员不需要关注的大量提示性的告知信息,只保留值班员真正需要关心的事故、异常及变位信息和未复归告警信息,也排出检修信息的干

扰,监控工作量大幅度减少;其次建立起变电站告警信息专家处理系统知识库,采用正向推理及逻辑推理技术,实现对单个或有关联关系的多个告警事件进行推理判断,给出发生的原因及处理措施。

按照对电网的影响程度,告警信息分为:事故信息、异常信息、变位信息、越限信息、告知信息五类。事故信息是指由于电网故障、设备故障等,引起开关跳闸(包括非人工操作的跳闸)、保护装置动作出口跳合闸的信息以及影响全站安全运行的其他信号。异常信息是指反映设备运行异常情况的报警信号,影响设备遥控操作的信号,直接威胁电网安全与设备运行的重要信息。变位信息是指开关类设备状态(分、合闸)改变的信息。越限信息是反映重要遥测量超出报警上下限区间的信息。告知信息是反映电网设备运行情况、状态检测的一般信息。

在1个“短时间”内,变电站某一间隔设备连续发生多个事故或告警信号,这些连续发生信号是1个存在关联的有机整体,成为1个“综合事件”。该综合事件必然是某个事故或异常引起,综合事件推理逻辑要根据发生的“综合事件”推理出该间隔设备究竟发生了何种异常和事故,给出一个综合的判断和处理方案。

“综合事件”逻辑推理方法至少包括两种:一种是穷举法,即某种事件的组合推理出一个异常事件;另一种是模糊推理法,只要在某间隔设备上找到某个或多个事件,不管还有没有其他事件就推理出一个异常事件。比如,穷举法:断路器SF₆气压低报警,断路器SF₆气压低闭锁,断路器控制回路断线,断路器N₂/SF₆油压力低总闭锁,上述4个信号同时出现,则判断为“断路器SF₆气压低闭锁分合闸”。模糊推理法:断路器SF₆气压低闭锁,断路器控制回路断线。某个单元设备内,只要上述两个信号同时出现,就判断为“断路器SF₆气压低闭锁分合闸”。两种方法各有优缺点,需要根据实际情况灵活选择推理方法,在实际工程应用中,“模糊推理法”应用得更多一些,只有在事件特别重要,需要精确推理时才用“穷举法”。

3 方案设计与实现

告警图形网关包括告警直传和远程浏览功能。告警直传以变电站监控系统的单一事件或综合分析结果为信息源,按照事故、异常、越限、变位、告知五类分类标准,参考 Syslog 标准化信息格式,经

过分类整理、归并、优化处理后,生成标准的告警条文,经由告警直转转发模块,以 DL476 规约文本格式传送到调度主站,主站端告警服务程序接入后,告警信息可分类显示在相应的告警客户端。远程浏览以 CIM/G 语言为浏览画面文件标准,DL476 规约为画面数据传送的载体,经由数据转发模块向主站端发送图形文件及所包含的遥信遥测画面刷新数据,主站端图形程序接入后,可远程浏览到变电站监控图形和画面刷新数据。[13~15]

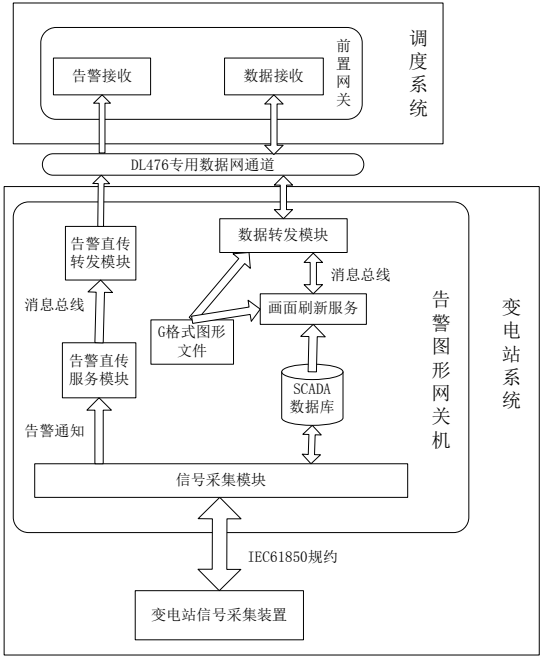


图7 告警图形网关方案设计框图

告警图形网关方案设计框图如图 7 所示。告警直传服务模块一方面接收信息采集模块发送的告警通知报文,解析告警消息结构体,分析每条消息的告警类型,每个告警类型对应一个告警登录表,将相关域内容进行转换、组合,对于具有关联关系的多事件告警信息按照数据库预先设定的规则进行归并处理,然后再经过标准化处理,生成标准告警条文;另一方面通过消息总线把标准告警条文发送给告警转发模块。告警转发模块负责一方面与调度端告警接收模块建立 TCP 通信链接,另一方面接收告警直传服务模块发送的标准告警字符串,以 DL476 规约 ASCII 码数据块(BID=39)的方式转发至调度端前置告警接收模块。画面刷新服务模块负责一方面通过消息总线与数据转发模块交互报文,另一方面从 SCADA 数据库中取画面数据,首次取的是全数据,运行过程中取的是变化数据。数据转发模块负责接收调度端发送的画面文件请求,然后按照

DL476 规约把 CIM/G 语言文件内容数据块,以及从画面刷新服务程序接收的全遥测数据块、全遥信数据块、变化遥测数据块、变化遥信数据块转发至调度端前置数据接收模块。

4 测试结果

告警直传与远程浏览功能在嵌入式平台上测试过程包括通讯链路、告警直传信息上送、远程浏览画面文件传送、远程浏览画面全数据上送、远程浏览画面变化数据上送的测试等。

为测试告警直传功能,在前置模拟器中模拟保护动作信号,比如遥信定义表中挑选直传国调类型的“5011 开关/CSC-121A 保护装置动作”、“5011 开关/CSC-121A 重合闸动作”、“5011 开关/CSC-121A 保护运行异常”、“5011 开关/CSC-121A 保护装置告警”四个遥信量,在模拟操作中模拟遥信窗口中输入遥信点号和所属的逻辑设备点号,在遥信位置中输入“分”,模拟保护信号复归发送出去,然后等待一段时间输入“合”,模拟保护信息动作发送出去。在调度端告警窗中会显示多行反映保护信号动作、复归的标准告警字符串信息,如图 8 所示。

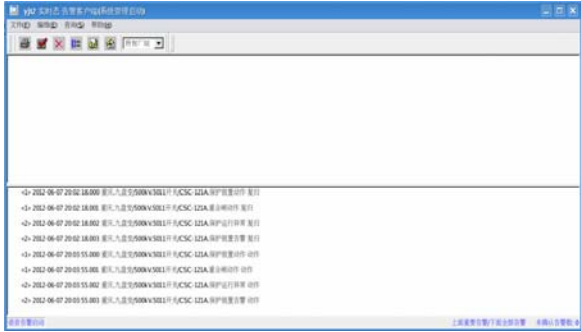


图8 告警直传调度端告警窗

为测试远程浏览功能,以重庆九盘变的某间隔“500kV 第一串监控图”为例,在遥信序号表中挑选此间隔图所包含的 5011 开关位置信号(双位遥信):“5011 开关合位”、“5011 开关分位”;遥测序号表中选择所包含的 5011 负荷三相电流信号:“5011 负荷 Ia”、“5011 负荷 Ib”、“5011 负荷 Ic”。在前置模拟器模拟遥信窗口中输入开关位置信号的遥信点号及所属逻辑设备点号,为了模拟 5011 开关断开状态,在遥信位置中,“5011 开关合位”设为分,“5011 开关分位”设为合,即可表示该开关处于分位。在模拟遥测窗口中输入负荷三相电流的遥测点号和所属逻辑设备点号,遥测数值中分别设为 100、200、300,即可模拟该负荷三相电流值。将上述遥信和遥测值

发送出去,在调度端图形程序变电站远程浏览界面中可以看到该串间隔画面以及所包含的遥信遥测数据。见图9。



图9 远程浏览调度端图形浏览界面

5 结论

本文在对告警图形网关所涉及到的关键技术研究基础上,提出了基于嵌入式平台的告警图形网关总体设计方案,并实现嵌入式 Linux 平台的移植和告警图形网关功能模块的部署,大幅度提高硬件资源的利用效率,降低变电站改造成本,提高设备可靠性。经测试调度端可随时浏览到经分类、处理、优化后的告警直传信息,以及站端实时画面和刷新数据,实现对变电站系统运行状况、潮流走向、一次设备位置、光字信号等的直接监控,提高调度运行监视效率。

参考文献:

- [1] IEC61850-5 Communication Networks and Systems in Substations-Part5: Communication requirements for functions and device models[S].Geneva:IEC, 2003-07.
- [2] IEC61850-6 Communication Networks and Systems in Substations-Part6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs[S].Geneva:IEC, 2004-03.
- [3] IEC61850-7-1 Communication Networks and Systems in Substations-Part7-1: Basic communication structure for substations and feeder equipment-principles and models[S].Geneva:IEC, 2003-07.

- [4] IEC61850-7-2 Communication Networks and Systems in Substations-Part7-2: Basic communication structure for substations and feeder equipment-Abstract communication service interface(ACSI)[S].Geneva:IEC, 2003-07.
- [5] IEC61850-7-3 Communication Networks and Systems in Substations-Part7-3: Basic communication structure for substations and feeder equipment-Common data classes[S].Geneva:IEC, 2003-05.
- [6] IEC61850-7-4 Communication Networks and Systems in Substations-Part7-4: Basic communication structure for substations and feeder equipment-Compatible logical node classes and data classes[S]. Geneva:IEC, 2003-05.
- [7] DL / T 476-2012 电力系统实时数据通信应用层协议[S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [8] Q / GDW 624-2011.电力系统图形描述规范[S].
- [9] 黄远峰, 宗平. 基于 UDP 的滑动窗口协议的设计与实现[J]. 南京邮电大学学报(自然科学报), 2007, 27(4): 80-84.
- [10] 赵静, 张来保, 张健. 续重传协议和选择重传协议的性能分析[J].通信技术, 2003(1): 70-73.
- [11] 成月良, 方寿海. 面向应用的嵌入式 Linux 裁剪方法研究与实现[J].计算机工程与设计, 2009, 30(11): 2684-2687.
- [12] 顾咏枫, 陈章龙.嵌入式 Linux 裁剪方法[J].小型微型计算机系统, 2003, 24(9): 1697-1700.
- [13] 王雷. 告警直传与远程浏览在浙江省调度中的应用[J]. 供用电, 2012, 29(5): 52-55.
- [14] 胡丽清, 肖艳炜, 李英. 变电站监控信息告警直传技术及其在浙江电网的应用[J].浙江电力, 2012 (12): 87-90.
- [15] 刘希峰, 王彦博, 韩振峰. 变电站远程浏览技术实现方法[J].山东电力技术, 2012 (6): 41-43.

作者简介:

任浩(1982—), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为电力系统自动化, E-mail: renhao@epri.sgcc.com.cn。