

基于 VxWorks 嵌入式实时操作系统的 IEC61850 数据通信实现

巫茜¹ 周庆²

(重庆理工大学计算机科学与工程学院 重庆 400054)¹

(重庆大学计算机科学学院 重庆 400044)²

摘要 针对变电站 IED 之间的互操作性差、难以实现信息交互的问题,结合变电站技术改造,探讨了基于 VxWorks 嵌入式实时操作系统的 IEC61850 报文实现。借助 VxWorks 的 Wind 微内核提供的多任务环境、进程间通信和同步功能,讨论了任务调度策略、通信、同步和互斥机制,研究了信息模型的通信映射与快速报文传输服务,构建了实现 IEC61850 的信息模型实体,分析了快速报文在 Vxworks 中的实现,给出了最优推荐方案。变压器经济运行自投切换初步实验结果表明,IEC61850 变电站自动化最新国际标准的实施有利于采用最新通信技术实现对电力参数的监控,为系统拓展预留了广阔的空间。

关键词 IEC61850 标准,通信映射,报文传输,嵌入式实时操作系统

中图分类号 TP399,TP273 **文献标识码** A

Implementation of Message Transmission of IEC61850 Standard Based on Embedded Real Time Operating System of VxWorks

WU Qian¹ ZHOU Qing²

(School of Computer Science and Engineering, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)¹

(College of Computer, Chongqing University, Chongqing 400044, China)²

Abstract Aimed at the puzzles of being poor in interoperability and difficult in implementing information interaction among intelligent electronic devices (IED) for substations, the paper explored the implementation of message transmission of IEC61850 standard based on embedded real time operating system of VxWorks. By means of multitasking environment and function of communication and synchronization among proceedings offered by Wind micro-core of VxWorks, it discussed the task scheduling strategy, communication synchronization and mutual exclusion mechanism, researched the communication map of information model and transmission service of high-speed packets, constructed the solid information model implemented by IEC61850 standard, analyzed the implementation of high-speed packets in the VxWorks, and also the optimal recommended scheme was given. The result of preliminary experiment in the spare power automatic switching of economic operation of transformer shows that date international standard of IEC61850 substation automation is propitious to implementing the monitoring of power parameter by adopting date communication technology, and it obligates wide space for system prolongation.

Keywords IEC61850 standard, Communication map, Message transmission, Embedded real time operating system

IEC61850 标准庞大而复杂,是变电站自动化的最新国际标准。该标准中引入了相关学科领域的新技术思想、概念与支撑工具,对系统实施的软硬件有很高要求,因此其全面实现技术难度比较大。在电力参数监控系统自动化功能方面,由于该标准只是服务标准而非功能标准,因此可采用最新的通信技术实现对电力参数的监控,为系统拓展预留了广阔的空间。文中结合变电站升级换代,为解决变电站变压器经济运行的自投切换问题,对原自动化监控与调度系统采用“统一规划,分步实施”的原则作了局部技术改造的尝试。以下对基于 VxWorks 嵌入式实时操作系统的 IEC61850 报文传送实现作

简要讨论。

1 IEC61850 内涵与技术特征

图1给出了 IEC61850 标准的技术内涵,它蕴涵着全新的设计思想和方法,不是一般意义下的通信协议。智能电子设备 IED 间的信息交互目标是实现设备间的互操作,其最直接方法是制订统一的通信协议和报文传输格式,规范功能服务,借助服务模型与功能语义约定实现互操作。IEC61850 只规定了与具体网无关的抽象通信服务接口,但是没有规定通信的具体实现形式,因此可针对不同的通信网络和协议,采取

到稿日期:2012-10-27 返修日期:2013-02-01 本文受国家自然科学基金项目(61003246),重庆市教委科学技术研究项目(KJ110805),重庆理工大学管理科学与工程学科开放课题基金项目资助。

巫茜(1980—),女,硕士,讲师,主要研究方向为软件工程及信息服务, E-mail: 251135451@qq.com; 周庆(1979—),男,博士,副教授,主要研究方向为信息安全技术。

不同的通信映射方法,以便于规范数据的通信途径^[1]。

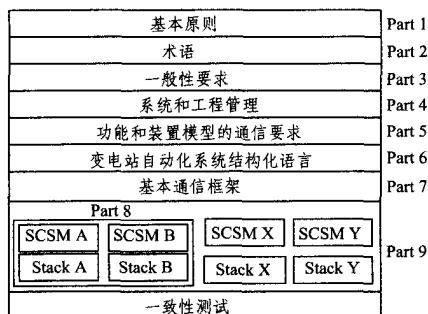


图1 IEC61850 标准的技术内涵

其突出的技术特征:①变电站功能层划分,IEC61850 按照 SAS 要求完成控制、监视与保护的任务,从逻辑上将变电站的功能划分为变电站层、间隔层和过程层。变电站层功能划分为过程相关功能与接口相关功能。前者功能借助逻辑接口 8 进行通信;后者是指变电站与工程师站、人机接口和远方控制中心的通信。②该标准将 IED 视为客户机/服务器运行方式,采用面向对象的建模方法,定义若干语义模型类,将 IED 的自动化功能和相关信息抽象分解,分别以特定功能模块的方式生成各种应用实例,在此基础上再将其按“类”的层次结构构造信息模型,并以服务器模式实现。因此该信息模型具有一致性与确定性,在表达上可以划分为 4 个层次:逻辑设备、逻辑节点、数据对象和数据属性,实质上这就是对 IED 间信息交互内容和方式的约定。③功能与通信解耦,IEC61850 定义的 14 类 ACSI 模型规范了信息模型的功能服务,其功能服务独立于具体网络,通信功能最终由 SCSM 实现。ACSI 向不同 SCSM 映射的过程。如图 2 所示,显然其通信可采用多种形式予以实现,其原因在于借助 ACSI 和 SCSM 技术实现了功能与通信之间的解耦。④基于 XML 定义了 SCL 语言,生成的是标准的 XML 文件,SCL 配置文件可以准确和完整地描述 SAS 的全部信息,包含了变电站、IED 和通信 3 个层次的对象模型,借助特定功能服务,可在线获取设备的信息,如图 3 所示。⑤接收方数据具有自我说明,实现了面向对象的数据自描述。

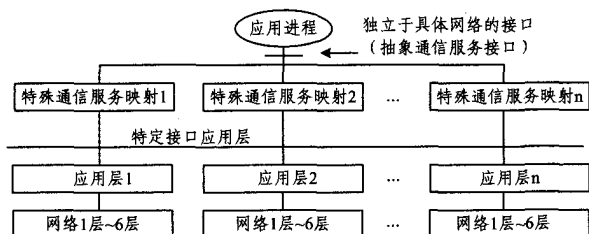


图2 ACSI向不同SCSM的映射

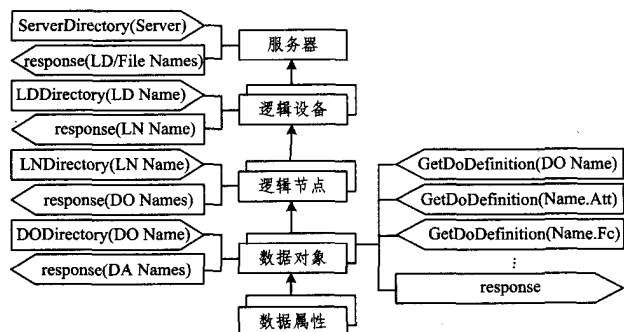


图3 在线获取设备信息

2 VxWorks 实时操作系统

VxWorks 实时操作系统如图 4 所示,它足以支持 Vx-Works 在较高层次性能上的应用要求,主要用于对时间敏感的信息处理等场合^[2,3]。Vxworks 内核(wind)是专为嵌入式实时应用而设计的模块化实时操作系统,其基本功能可分为出错处理、时钟管理和定时器服务、中断服务程序、内存管理、消息队列服务、信号量服务、事件与异步信号服务和任务管理等 8 类^[4,5]。工作于 VxWorks 实时操作系统上的任何一个实时应用软件都可以由中断服务程序 ISR、操作系统内核、用户选用组件与板级支持包 BSP 组成。

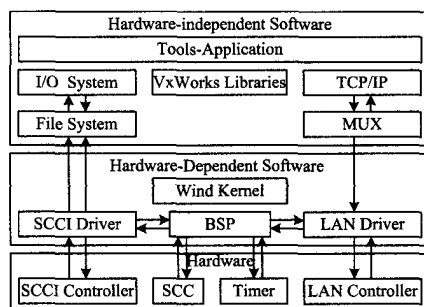


图4 VxWorks 的系统结构图

①实时应用中要注意任务调度策略与通信、同步和互斥机制的应用。多任务调度提供了两种调度策略,即抢占式调度方法和轮转调度方法。前者为缺省策略,分别对不同的任务预先指定优先级,如果有一个优先级更高的任务要执行,则将当前任务保存而切换至优先级更高的任务运行。后者给同优先级的每个任务指定一个相同的执行时间片与运行时间计数器,用完时间片就进行任务切换,停止执行当前运行任务,然后执行下一个任务。Vxworks 实时操作系统提供了多种任务间的通信方式:如二进制信号,用于异常处理;信号量,用于基本的互斥和任务同步等等。

②系统软件开发要注意:防止死锁、饥饿与优先级翻转和函数的可重入性(Reentrancy)正确运用。预防死锁要尽量使互斥资源在相同优先级任务中使用;要避免优先级低的任务长期无法运行的饥饿现象,必须对任务优先级进行合理地分配与调度;动态地进行优先级提升,避免优先级翻转的情况发生;可重入函数可被多个任务调用,任务在调用时不必担心数据是否会出错。

③VxWorks 操作系统移植。它将所有硬件的功能函数及与目标系统相关的驱动模块化设计分别放到一个板支持包 BSP(Board Support Package)中,负责向 VxWorks 提供与硬件环境的基本接口。应用程序代码独立于硬件,因此 Vx-Works 具有较强的可移植性,针对不同的硬件环境,可对 BSP 自定义新的驱动。

3 IEC61850 快速报文的实现

3.1 通信映射

基于 OSI 模型,选择以太网作为通信网络的物理层和数据链路层,ACSI 向 SCSM 的映射即是信息模型的通信映射。IEC61850 标准对 SCSM 方法有 4 种定义,如 SVC 模型中的采样值传输和 GSE 管理及其 GOOSE 报文传输服务直接向以太网数据链路层的映射;GSE 模型中的 GSSE 报文传输服

务向 MMS 信息报告以及无连接 OSI 协议栈的映射;基于客户机/服务器模式的核心 ACSI 服务向 MMS 的映射;时间及时同步服务向简单网络时间协议的映射^[6-8]。这里的 MMS 即 ISO/IEC9506、TASE2/UCA 和 IEC61850 等都选择 MMS 为其应用层协议的规范。

表 1 对传输层和网络层映射到 TCP/IP 协议与 IEC 61850 应用层、表示层和会话层映射到 OSI 模型进行了定义。

表 1 MMS+OSI 模型+TCP/IP+以太网的协议栈

OSI 模型层	名称	服务规范	协议规范
应用层	MMS	ISO 9506-1	ISO 9506-2
	关联控制服务元素	ISO/IEC 8649	ISO/IEC 8650
表示层	面向连接的表示	ISO/IEC 8822	ISO/IEC 8823-1
	抽象语法记法	ISO/IEC 8824-1	ISO/IEC 8825
会话层	面向连接的会话	ISO/IEC 8326	ISO/IEC 8327-1
传输层	TCP 上的 ISO 传输服务	RFC 1006	
	TCP 协议	RFC 793	
网络层	ICMP 协议 (V4)	RFC 792	
	IP 协议 (V4)	RFC 791	
数据链路层	ARP/RARP 协议	RFC 826/RFC 903	
	ISO/IEC 8802-3 上的 IP 数据报	RFC 894	
物理层	CSMA/CD	ISO/IEC 8802-3	
	光纤或 RJ45 连接件	IEC 60874-10 或 ISO/IEC 8877	

MMS 将变电站中所有实际设备的外部可视行为抽象为虚拟制造设备 VMD 以及 VMD 所包含的对象子集。在建模仿方法方面,IEC61850 标准与 MMS 均采用抽象建模,因此要实现 ACSI 向 MMS 的 SCSM 映射,只需将模型映射到 VMD 及其服务再经数据类型转换即可。

①信息模型属性映射:为简化说明,现以 A 相电流采样值为例,其属性映射方法如表 2 所列,显然其属性由 4 个不同层次的语义空间完整地映射到 VMD。

表 2 MU1/phsaTCTR. Amp. instMg 向 MMS 的映射

IEC61850 类型	IEC 61850 实例	MMS 对象	MMS 实例
Server	Server1	WMD	VMD1
LD	MU1	Domain	MU1
LN	MU1/phsaTCTR		MU1/phsaTCTR
DO	MU1/phsaTCTR.Amp	Named Variable	MU1/phsaTCTR\$MX\$Amp
DA	MU1/phsaTCTR.Amp.instMag		MU1/phsaTCTR\$MX\$Amp\$instMag

表 2 中 Named Variable 用于存放各种抽象变量,Domain 用于存放 VMD 的特定资源。Named Variable 采用嵌套格式将变量的语义路径作为变量的命名描述,以便于信息模型的重构。

②通信服务映射:VMD 及其对象子集与特定操作对应,以 MSVCB 属性读取服务 GetMSVCBValue 为例:MSVCB 的属性映射成 VMD 中的 Named Variable,故 GetMSVCBValues 映射成 MMS 的 Read。

表 3 直接映射的协议栈

OSI 模型层	名称	服务规范	协议规范
应用层	GOOSE 报文 (对应 SendGOOSEMessage)		
	GSE 管理报文 (对应 GSE 管理服务)		
	Part 9-1 定义的采样值报文 (对应 SendSVMessage)		
	Part 9-2 定义的采样值报文 (对应 SendM (U) SMessage)		
表示层	ASN.1 的 BER 编码 (Part 9-1 定义的采样值报文除外)	ISO/IEC 8824-1	ISO/IEC 8825
会话层			
传输层			
网络层			
数据链路层	以太网优先级协议/VLAN		IEEE 802.1Q
	CSMA/CD		ISO/IEC 8802-3
物理层	光纤或 RJ45 连接件	IEC 60874-10 或 ISO/IEC 8877	

IEC61850 标准对 3 类通信服务作了规定,它们由应用层直接映射至以太网数据链路层,这 3 类通信服务是:GOOSE 报文传输、采样值传输与 GSE 管理报文传输,这样规定的目

的是为了减小报文传输和协议封装/解析的时间开销,并且将网络层、传输层和会话层设置为空层。如表 3 所列,数据链路层采用基于 VLAN 的优先级标记,通过赋予较高的优先级来降低排队延时,确保 GOOSE 报文传输和采样值报文的实时性。

3.2 实体构建

实体构建是实现 IEC61850 标准的关键环节,图 5 给出了实际应用中可能采用的 3 种不同信息模型方案,实体的作用在于实现设备的所有实际功能、运行机制和数据所对应信息模型的所有细节。

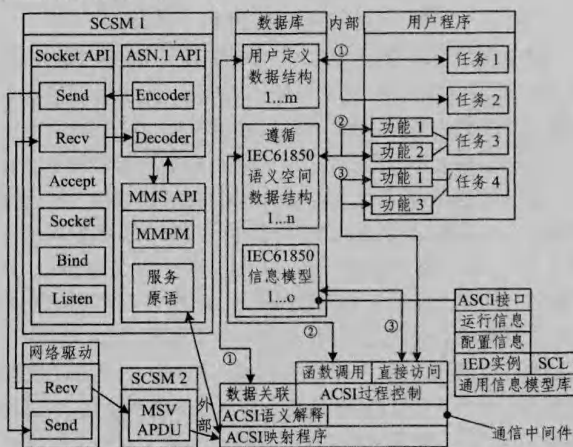


图 5 模型的 3 种构建方案

①第 1 种方案

该方案的实质在于建立与用户定义的数据结构的关联。看似简单,但变电站的 IED 设备如果未按照 IEC61850 标准对其功能和运行机制进行规范,如测量值要求为 32bits,而用户数据可能是 16bits 等,则仅仅依靠数据关联难以实现严格合乎规范的功能服务,互操作也无从谈起,应尽量避免采用这种方案。

②第 2 种方案

该方案基于建立与 IEC61850 语义空间一致的层次化数据结构。为统一数据结构和程序设计,IED 设备各项应用功能必须将其分解、分配或合并为标准定义的基本功能,并由用户自行定义,按照标准语义存放 IED 对应的信息模型实例的属性。由于服务与服务对象分离、数据缺失应有的生成过程等不规范环节的存在,因此第 2 种方案实施难度极大。

③第 3 种方案

该方案的优势在于:借助类的组织形式,首先构建出完整的信息模型,由于服务与服务对象之间存在耦合,可通过类的成员函数实现与成员变量之间的关联,其数据语义的准确性和一致性可由类的派生行为保证,因此无需对 ACSI 服务进行解释与数据关联。第 3 种方案的信息模型所对应的基本功能是通用的,有利于系统的平台设计,即使标准化过程中必须要付出代价,该方案也是值得推荐的优秀方案。

3.3 快速报文在 Wxworks 中的实现

快速报文在 Wxworks 中的实现是有一定技术难度的。VxWorks 采用 TCP/IP 协议栈,其通信采用点对点方式实现^[9]。IEC61850 标准中对快速报文规定了 7 种通信服务,其特点都是由应用/表示层映射到数据链路层。现以 SMM 和 SGM 为例,讨论通信服务的实现方法。

①VxWorks 网络协议栈

VxWorks 网络协议栈结构如图 6 所示,该栈基于 OSI 模型,在数据链路层中添加一个多路转换接口(MUX)以使驱动与高层协议保持独立,其功能是对报文进行转发,它向下提供与数据链路层上的多个增强型网络驱动(END)连接,而向上负责屏蔽底层的具体实现并为各高层协议提供统一的数据接口。

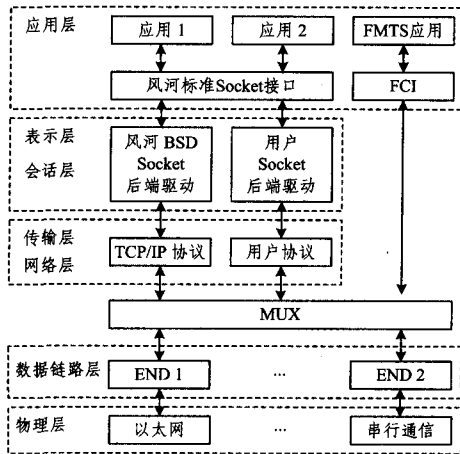


图 6 VxWorks 网络协议栈

②FCI 的设计

在 VxWorks 中,MUX 默认借助套接字(Socket)和 TCP/IP 协议栈对其进行访问。VxWorks 网络协议栈图 6 中的 MUX 为应用提供了 6 个访问 MUX 的接口函数和 4 个回调函数,为了提高通信的实时性,还专门设计了一个快速通信接口 FCI。如图 7 所示,在回调函数中进行数据拷贝和简单解析后以信号量的方式通知应用。这里对部分函数略作说明,现以 fciOpen() 启动 FCI 为例,第一步是调用 muxBind() 函数将 FCI 的指针、协议名称、协议类型、回调函数名称、设备号与网络设备名称等插入到对 MUX 维护的协议链表中;第二步是 MUX 从 END 中获得报文后,再依次转发给该链表中的各协议栈;第三步是用 muxIoctl() 停止或重启 MUX 等等。值得注意的是,这里的 SMM 和 SGM 状态机维护与 APDU 编解码等功能是由特定的应用任务完成的,并不由 FCI 模块负责处理。

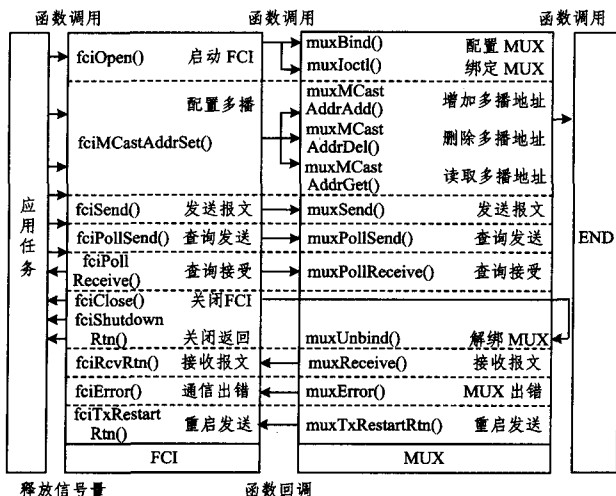


图 7 FCI 模块的功能

③应用任务设计

如图 8 所示,SMM 和 SGM 的 APDU 编解码、状态机和控制块参数维护等主要功能由应用任务实现。这里 GST 与 GSF 用于实现 SGM 发布者功能,GRT 用于实现 SGM 订阅者功能,SRT 用于实现 SMM 订阅者功能。图 8 指出了 FCI 模块及函数 fGooseSend(GSF)等其他任务的关联关系^[10]。

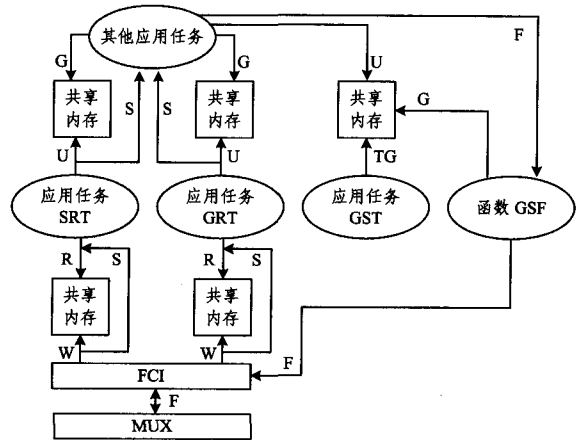


图 8 FMTS 的应用任务与 FCI 及其他任务的关联

结束语 围绕 IEC61850 标准的信息模型,本文讨论了与报文实现相关的信息模型属性及通信功能服务,研究了通信的映射机制,构建了信息模型实体,并从构建方案中给出了基于 VxWorks 嵌入式实时操作系统的 IEC61850 快速报文实现的推荐方案。由于 IEC61850 本身庞大而复杂,文中所涉及的技术改造的实验范围有限,尽管实验结果令人满意,但是更深层次的细节问题只有在工程实践中针对特定对象采取具体措施给予解决。

参考文献

- [1] 范荣全,肖红,李琪林. 智能变电站 GOOSE 通信网实时性分析[J]. 计算机科学,2011,38(10):444-446
- [2] 贺小琳,张善从. 基于 VxWorks 的 SD 卡驱动程序的设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2010,31(16):3573-3575
- [3] IEC, IEC 61850-9-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM)-Sampled values over unidirectional multidrop point to point link[S]. 2003
- [4] IEC, IEC 61850-7-4: Basic communication structure for substation and feeder equipment-Compatible logical node classes and data classes[S]. 2003
- [5] IEC, IEC 61850-8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM)-Mappings to MMS(ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3[S]. 2004
- [6] IEC, IEC 61850-9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM)-Sampled values over ISO/IEC 8802-3 [S]. 2004
- [7] IEC, IEC 61850-6: Configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs [S]. 2003
- [8] IEC, IEC 61850-10: Conformance testing[S]. 2005
- [9] 柳瑞峰,张有光. VxWorks 操作系统在数据链系统中的应用[J]. 计算机工程与设计,2009,30(16):3717-3719
- [10] IEC, IEC 61850. Communication networks and systems in substations-Part 8-1: Specific communication service mapping (SCSM)-Mapping to MMS (ISO/IEC9506 Part 1 and Part 2) over ISO 8802-3 DraftEd1. 0[S]. 2006