

基于 IEC61850 标准开发数字变电站可编程的 IED

王海吉¹, 王书强², 刘海波¹, 魏树立¹, 杨秀英¹

(1. 北京美兰尼尔电子技术有限公司, 北京 100085; 2. 沧县电力局, 河北 沧州 061000)

摘要: DSI-5000 系列微机保护装置是为满足数字化变电站的整体要求而策划设计的, 采用通用的软硬件平台。主要介绍了平台的软硬件特点, 比较了采用单 CPU 和多 CPU 方案实现 IEC61850 通讯协议的优缺点, 给出了可编程模块的建模实例和实现方法。阐述了在 VxWorks 操作系统下任务优先级、中断优先级的分配方法以及任务调度机制。介绍了 IEC61850 通讯规约的实现过程。

关键词: 数字化变电站; IED; 继电保护; IEC61850; 可编程; VxWorks

Development of programmable IED for digital substation based on IEC61850 standard

WANG Hai-ji¹, WANG Shu-qiang², LIU Hai-bo¹, WEI Shu-li¹, YANG Xiu-ying¹

(1. Beijing Millennia Electronic Technology Co., Ltd, Beijing 100085, China;
2. Cangxian Electric Power Bureau, Cangzhou 061000, China)

Abstract: DSI-5000 serial relays are designed for the need of digital substation, using general hardware and software platform. This paper mainly introduces the advantage of the general hardware and software platform, also compares the advantage and disadvantage of the method realizing IEC61850 standard with single-CPU and with multi-CPU. The paper presents the modeling and realization of programmable relay. The paper also introduces how to assign the priority of task and interrupt, and how to dispatch the task, also introduces the process of realizing IEC61850 standard.

Key words: digital substation; IED; relay protection; IEC61850; PLC; VxWorks

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)03-0037-05

0 引言

IEC 制定的变电站内通信网络与系统的通信标准体系 IEC61850 标准, 充分考虑了变电站自动化系统的功能和要求, 为不同厂商的智能设备 IED 实现互操作和系统无缝集成提供了有效的途径。它采用分层分布式体系、面向对象的建模技术, 使得数据对象能够自描述^[1]。

目前基于 IEC61850 通讯协议建设数字化变电站的技术研究正在逐步深入, 也上马了许多试点工程, 各家的实现方法和特点各异。

IEC61850 通讯协议硬件是基于工业以太网, 软件是基于 TCP/IP 的 MMS (制造报文规范) 协议集的通讯协议。硬件上要求 CPU 的处理速度更高、存储器容量更大, 软件平台也要有操作系统的支持。多数厂家的 IED 采用 2 至 3 个 CPU 结构, 一个 CPU 用来实现数据采集和保护功能, 一个用来实现 IEC61850 的通讯功能, 另一个实现人机界面。这样做的优点是功能独立, 通讯不影响保护, 提高了保

护的可靠性。在逻辑上相当于在传统的微机保护装置上增加了一个规约转换板, 这样做能够加快厂家推出基于 IEC61850 通讯规约的保护装置的速度, 迅速在市场上占据一席之地。

IEC61850 除了通讯上能够互联实现互操作之外, 更核心的思想是面向对象的建模技术, 并给出了各种常用保护和控制功能逻辑节点的标准建模模型 (IEC61850-7-4)。所以实现 61850 通讯互联只是第一步, 只有保护和控制的各个功能模块也是按照逻辑节点模型建立起来的才是真正的完全基于 IEC61850 标准的微机保护装置。如果采用多 CPU 方案, 即使保护和控制功能是按逻辑节点建模实现的, 在通讯 CPU 上也必需存在一个逻辑节点的映象模型, 并要通过两个 CPU 之间的数据通讯实现数据的传输, 多采用双端口 RAM 或串行总线实现数据交换。这必然影响了数据传输的快速性, 同时增加了软硬件的复杂性。GOOSE 数据传输要求在事件发生后 4 ms 的时间内发送出去, 可见对通讯快速性的要求是相当高的。

采用单个 CPU 结构, 避免了多 CPU 之间的通讯带来的软硬件开销, 降低了装置成本, 使得事件响应的时间缩短了, 提高了通讯响应的快速性和可靠性。但所面临的问题就是保护的可靠性是否会受到通讯模块的影响? CPU 的负荷率是不是太高等疑问? 要想克服上述问题的困扰, 需要相对较快的 CPU、稳定可靠的操作系统、合理的分配保护和通讯任务的优先级、有效的内存管理机制做保证。

经过对多款 CPU 的评估之后, 选用了飞思卡尔 MCF5275 单片机。该芯片采用第二代 ColdFire® V2 内核, 可在 166 MHz 的时钟频率下提供高达 159 MIPS 的处理能力(Dhrystone 2.1), 且低功耗。MCF5275 较之前的器件增添了一些模块: 包括第二个 10/100M 以太网通讯控制模块和硬件加密模块, 一个增强型乘加运算单元 (eMAC), 再加上 64 KB 片内静态存储器 and 用户可定义的 16 KB 片内高速缓存 (Cache), 这些可以使系统性能大幅度提高而成本全面降低。MCF527x 系列单片机在工业控制、远程监控、数据安全加密设备、Internet 网络电话等领域得到了广泛的应用。

在决定采用 VxWorks 操作系统之前, 做了广泛的调研。和其他操作系统相比 VxWorks 的健壮性、实时性、组件的丰富性无疑是最适合本项目的开发了, 应用实践也证明了这一点。

DSI-5000 系列采用通用软硬件平台设计, 是为了适应半导体制造业和通讯技术的日益快速发展需要。使用 VxWorks 操作系统, 基于柔性设计思想开发硬件、可编程组态程序模块、通讯协议程序模块, 很好的协调了产品的高质量、高灵活性、低成本之间的矛盾, 易于实现向新平台系统的移植和升级。

基于 IEC61850 GOOSE 协议可以实现 IED 之间的快速数据交换, 使得全站的防误操作、备用电源自投、失灵保护等功能可以采用分布方式实现。

1 DSI 5000 系列通用软硬件平台的特点

1.1 硬件特点

CPU 采用 MCF5275, 150MHZ 主频, 片上具有 16K 数据/指令 CACHE、64K SRAM, 双以太网、I2C、QSPI、3×UART、USB 2.0 FULL-SPEED DEVICE 等通讯接口^[2];

核心 CPU 板 6 层 PCB 布线, 外扩 16M FLASH、32M DDR、2M nvram、实时时钟等;

16 CH、14BIT、250KSPS A/D 转换器

14 路开关量输出

16 路开关量输入

两路 10/100M 以太网通讯接口, RJ45 或

FX100 光纤接口可选

两路 RS485 通讯接口

320×240 高清晰度大屏幕蓝屏液晶显示器

18 路可编程显示 LED 指示器

6U 1/3 19In 前插式机箱结构, 交流插件也可后插。

1.2 软件特点

采用 C++ 和面向对象的程序设计方法实现了 IEC61131 标准中所有基本 PLC 可编程模块、保护可编程模块和自动化控制功能模块以及 IEC61850 标准和扩展逻辑节点类的设计。

保护和自动化功能模块在开发和工程两个级别上实现了可编程配置, 开发和工程人员只需根据用户的功能要求将各个标准模块输入输出连接起来, 新的装置即可设计完成了。

COMTRADE 录波格式, 录波长度、内容、启动方式可配置。

采用 VXWORKS 操作系统

全面实现 IEC61850 通讯协议

2 可编程组态功能的实现方法和模块建模

采用可编程的方法实现保护功能, 是保护软件编程的最新技术, 被 ABB、西门子等厂家广泛采用。采用面向对象的设计方法, 将每一个模块对象独立封装起来, 易于实现软件的维护、调试和封装, 提高了编程的可靠性。同时使得保护装置的功能实现变成了在图形组态辅助工具软件上模块之间的简单连线。图形组态工具软件将设计员完成的连线图, 经过编译之后生成配置文件 (MI5xxx_dev.cfg), 下载到装置上。装置上电时, 解释该配置文件, 动态创建各个功能模块并实现输入输出连接。根据执行速度要求, 操作系统分时扫描调用各模块的执行函数, 从而实现了装置的各种功能。

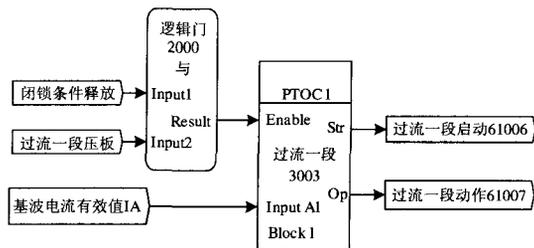


图 1 配置接线图

Fig.1 Diagram of configuration connection

2.1 可编程模块和逻辑节点类的建模方法

可编程模块实现了 IEC61131 所定义的所有标准 PLC 可编程模块。定义了标准基类 CPlcBase, 所

有模块是由 CPICBase 基类继承而来,如逻辑门元件、算术运算元件等。

所有实现保护和自动化功能的逻辑节点模块尽量在 IEC61850 中找到匹配的逻辑节点模型,并在类定义中扩充有组态特点的属性 and 行为,将 IEC61850 的逻辑节点通讯建模、保护功能、组态功能有机的结合成一个模块类整体,使得模块具有面向不同功能的输入输出端口,这类模块的继承基类是 CLNodeBase。

在 CLNodeBase 基类中实现了 IEC61850 逻辑节点的定值管理、控制服务等虚函数。同时还针对 61850 的通用属性项定义了大量的宏函数,轻松实现函数调用。

每一个模块有一个属性项 Id (标识号码),模块组态时由设计员分配给其一个在整个装置中唯一的标号, LNRef 属性则在逻辑节点的服务函数中用到。

2.2 可编程模块建模实例: 逻辑门 (LOGICGATE)

逻辑门模块可以完成与、或、非、与非、或非、异或及同或的逻辑运算,非门仅支持一个输入,其它运算最多允许 12 个输入。

表 1 逻辑门可编程模型

Tab.1 Programmable model of logic-gate

Logic-Gate			
属性名	类型	说明	M/O
基类CPICBase继承属性			
Id	INT32U	标识号码	
Name[]	INT8	名称	
特有基本属性			
Type	INT8U	逻辑类型 AND、OR、NOT、NAND、 NOR、XNOR、XOR	
InputNum	INT8U	输入量数量	M
输入信号			
InputA[]	INT32U	模拟量输入	
输出信号			
m_Result	BOOLEAN	逻辑输出	

2.3 逻辑节点建模实例: 延时过流保护 (PTOC)

使能输入端主要用于软压板、电压闭锁,分相闭锁信号可用于方向闭锁等。动作曲线枚举类型定义与 IEC61850 的相关规定保持一致,包括定时限、反时限及特定曲线模式。

时间定值在定时限中为延时定值,在反时限中为时间常数,特殊动作曲线中此定值无特定意义。

表 2 PTOC 可编程接口模型

Tab.2 The programmable interface model of PTOC

PTOC类			
属性名	类型	说明	M/O
基类CLNodeBase继承属性			
Id	INT32U	标识号码	
Name[]	INT8	名称	
LNRef[]	INT8	描述	
特有基本属性			
InputNum	INT8U	输入量数量	
输入信号			
InputA[]	INT32U	模拟量输入	M
Block[]	BOOLEAN	分相闭锁信号输入	O
Enable	BOOLEAN	使能输入	M
输出信号			
Str	BOOLEAN	元件总启动	
Op	BOOLEAN	延时元件总动作	
OpPh[]	BOOLEAN	元件动作	

表 3 PTOC 的通讯模型

Tab.3 The communication interface model of PTOC

PTOC类			
属性名	属性	说明	T
LNRef		逻辑节点名	
数据			
公用逻辑节点信息 (基类CLNodeBase成员)			
Mod	INC	模式	
Beh	INS	性能	
Health	INS	健康	
NamPlt	LPL	铭牌	
状态信息			
Str	ACD	启动	
Op	ACT	动作	T
定值			
TmACrv	CURVE	动作曲线类型	
StrVal	ASG	启动值	
OpDITmms	ING	动作延时时间	
数据集			
Op	ST	保护动作数据集成员	
缓存报告控制块 BRCP			
Op	ST	动作	
日志报告控制块 LCB			
Op	ST	日志数据集成员	
定值控制块 SGCB			
TmACrv	SG SE	SGCB数据集成员	
StrVal	SG SE	SGCB数据集成员	
OpDITmms	SG SE	SGCB数据集成员	
服务			
GetLNDirectory		读目录	
GetAllDataValues		读数据	

3 中断、任务优先级分配

为了保证继电保护动作的快速性和可靠性,同时兼顾通讯响应的快速性,必须合理的安排中断优先级以及任务的优先级和任务调度周期。

3.1 中断优先级分配

在系统中中断优先级的次序依次是:

定时采样启动中断;

测频中断;

VxWorks 系统时钟中断;

16 通道 AD 转换结束中断;

VxWorks 系统辅助时钟中断;

以太网中断;

串行通讯中断。

装置采集交流量的计算采用付氏算法,每周波采样 32 点。为了保证计算精度,要求采样点必须等间隔,所以定时采样中断优先级设置的最高;同时采用了频率跟踪的算法测频中断次之。

系统时钟中断用来实现任务分时调度切换等重要工作优先级也相对较高;A/D 转换结束中断只要保证在下次启动 A/D 转换之前,将转换结果读出即可,所以优先级适中;辅助时钟用来时间管理和看门狗定时器,相对较低;以太网中断虽然较重要但由于其占用时间较长,且通讯的响应速度是 ms 级别的所以设置的较低;串行中断则用来做超级终端,人机界面管理等工作所以设置的最低。

3.2 任务优先级和任务分时调度机制

任务的优先级分配:VxWorks 内核有 256 个任务优先级,0 最高,255 最低。VxWorks 内核的任务优先级分配是:系统调度任务 0、调试任务 3、网络任务 50~60、USB 和图形 60~80、shell 100,用户的任务安排在 100~255 之间^[9]。VxWorks 同一任务优先级可以安排多个任务,所以并不是说内核占用了用户就不能用了。但是如果用户任务优先级设置高于内核任务的优先级,要注意任务的执行时间不能过长,否则可能造成任务队列阻塞溢出等异常情况发生,使得系统不够稳定。

DSI 5000 系统软件任务根据功能分类分为:保护任务、人机接口任务、通讯任务。根据响应速度保护任务分为:快速任务、中速任务、慢速任务三个级别。快速、中速、快速任务的调度周期依次是 2ms、6ms、100ms。任务调度采用信号量(semaphore)机制,在采样定时中断中定时发放信号量,以保证任务响应的快速性。

快速任务:(优先级 120)

主要完成傅立叶计算、启动条件及闭锁条件计

算、瞬时过流(PIOC)、距离保护速断(PDIS)、差动保护(PDIF)、故障录波(RADR、RBDR、RDRE)、PT/CT 断线判据、保护跳闸条件判据(PTRC)等模块的执行。

中速任务:(优先级 121)

主要完成延时保护及部分辅助功能。如:过流保护(PTOC)(含定时限、反时限过流、过负荷保护),定时限距离保护(PDIS)以及重合闸(RREC)等。

慢速任务:(优先级 160)

主要完成过负荷、热保护等延时较长的保护任务。

人机接口任务:(优先级 140)

主要完成液晶显示控制及键盘处理等,具有较低的执行优先级,采用定时及信号量触发的综合执行方式。

通讯任务:(优先级 130)

完成通讯请求服务及主动事件的发送等,采用定时及信号量触发的综合执行方式。

3.3 各任务的 CPU 实测负荷率

应用 VxWorks 的系统负荷分析工具 Spy Chart 可以测定系统的 CPU 使用状况,测试结果表明正常运行并触发事件的情况下,系统综合负荷率<50%。

表 4 各任务 CPU 负荷率统计表

Tab.4 Load rate of CPU for every task

任务或中断	负荷率/(%)
系统综合中断 INTERRUPT	10
VxWorks 内核及系统任务 KERNEL	6
快速保护任务	12
中速保护任务	4
慢速保护任务	0.5
人机接口任务	2
通讯服务任务	8
空闲任务 IDLE	57.5

测试方法:在线路保护装置正常运行和通讯的情况下,在 1min 的时间内模拟系统的瞬时性故障,装置速断及距离 I 段动作后重合等保护逻辑。

3.4 总结

中断、任务优先级的分配是要依据装置实现的功能进行合理的分配。越是优先级高和执行频率高的任务执行时间越是要严格控制,代码要优化,避免频繁的函数调用,因为这是降低系统负荷率的关键。再就是要合理分配各任务的执行周期。系统正常负荷率应控制在 50% 以下,以备复杂复合故障出现时,装置仍稳定可靠。

4 IEC61850 Server 通讯规约实现

4.1 IEC61850 通讯协议栈初始化

装置启动时读取装置配置文件 (ICD) MI5xxx_icd.xml, 然后完成 VMD 的创建, 包括逻辑节点、数据集、日志、缓存报告控制块、GOOSE 控制块、定值控制块等功能块的创建。同时把 VMD 中的数据区与实际逻辑节点中的通讯数据区进行映射。利用逻辑节点的相应接口函数, 如数据的读写操作来实现与 VMD 中的信息同步。这样在使用 MMS 与 VMD 进行数据交换时, 实际完成的是与保护装置的信息交换。

4.2 IEC61850 通讯服务线程

IEC61850 的通讯功能的实现是由 ML850_Comm_Server() 线程完成的。通讯服务有定时和事件触发两种执行机制, 定时时间是 1 s, 事件触发方式是当监视量状态发生改变时会发出信号量从而触发通讯服务。事件触发方式对于 Goose 报文的快速发送是非常必要的。

4.3 控制(遥控)、报告控制块、定值控制块、GOOSE 控制块的实现方法^[4,5]

不同的应用要求使用不同的遥控模型, 共有四种: 常规安全的直接控制、常规安全的操作前选择控制、增强安全的直接控制、增强安全的操作前选择控制。每种遥控模型使用其特定的状态机, 在设计装置时已经对要使用的遥控模型进行了定义, 遥控操作方式必须和遥控类型相符合。遥控操作都映射到了 MMS 服务的读写操作中, 因此 IED 在收到读写命令时要对读写操作的名称进行区分, 来对这种特殊类型的“读写”操作进行区别处理, 遥控控制块在收到遥控命令时只需要看当前状态来决定下一步的操作。

通讯配置文件里对报告控制块要使用的内容进行了初始化, 包括要使用的数据集、报告的标识、报告的触发条件等。接着报告控制块启动一个线程等待报告触发条件的满足, 当条件满足之后, 立即进行报告的发送, 发送完成后线程接着等待触发条件。

定值部分的操作由定值控制块来完成, 在装置中有八组定值对应八个存储区, 定值控制块中还有一个编辑定值区和一个激活定值区, 当客户端要编辑某组定值时, 定值控制块将定值从实际存储区拷贝到编辑区, 当客户端确认修改后, 首先检查修改

的定值的有效性, 当定值没有问题时, 定值控制块将定值再从编辑区拷贝到定值存储区。当客户端激活某组定值后, 定值控制块就将激活组的定值拷贝到激活定值区。

GOOSE 控制块实现类似于报告控制块, 但 GOOSE 的协议数据单元 (PDU) 是在链路层直接收发。由于 VxWorks 操作系统的 Socket 接口不提供 SOCK_RAW 类型的接口, 所以要自己编写链路层驱动程序, 控制 GOOSE 报文的收发。

5 结论

采用单 CPU, 结合 IEC61850 的建模理念, 把保护控制逻辑与通讯模型结合构建 IED 的实现模型, 在国内继电保护设备厂家中尚属首例, 我们可能是第一个吃“螃蟹”的。从实验室组网试运行效果看, 能够满足保护的可靠性和快速性的要求, 同时也能满足 IEC61850 的通讯要求。实践证明这是一条可行的实施方案, 长远来看应该是一种值得推广的应用模式。

参考文献

- [1] IEC. IEC61850 Communication Networks and Systems in Substations[S].
- [2] Freescale. MCF5275 Reference Manual[Z].
- [3] Wind River. VxWorks Programmer's Guide 5.5[Z].
- [4] 李永亮,等. 对基于 TCP/IP 的 IEC61850 特定通讯服务映射 MMS 的分析与实现[J]. 电网技术, 2004, 28(24).
LI Yong-liang, et al. Analysis and Implementation of TCP/IP Based Specific Communication Service Mapping MMS in IEC61850[J]. Power System Technology, 2004, 28(24): 33-38.
- [5] 廖泽友, 孙莉,等. IED 遵循 IEC61850 标准的数据建模[J]. 继电器, 2006, 34(20): 33-38.
LIAO Ze-you, LIU Li, et al. IEDs Data Modeling Based on IEC6180 Standard[J]. Relay, 2006, 34(20): 33-38.

收稿日期: 2007-06-07; 修回日期: 2007-08-01

作者简介:

王海吉(1964-), 男, 工学硕士, 主要从事电力系统继电保护和变电站综合自动化的研究; E-mail: whji@eyou.com

王书强(1973-), 男, 工程师, 主要从事电力系统继电保护运行管理;

刘海波(1976-), 男, 工程师, 主要从事电力系统继电保护和电力系统控制的研究。