

继电保护硬件平台测试软件一体化设计^①

孙振华, 高传发, 张 亭, 任华锋

(许继电气股份有限公司, 许昌 461000)

摘 要: 根据不同的应用需求, 继电保护硬件平台外围功能设备上会存在一定的差异. 为解决硬件平台测试软件通用性差、重复设计问题, 设计了一种基于配置文件的测试软件架构, 采用层次化、模块化的设计思想. 此方法提高了测试软件的通用性、可扩展性, 实现了测试软件结构的一体化. 本文对软件架构的各组成部分, 包括配置文件、嵌入式测试软件及上位机软件等进行了详细介绍, 并对软件的使用方法举例说明. 目前该测试软件在 MPC8309 硬件平台测试中取得了良好的效果, 并且方便移植和应用到其他硬件平台测试中.

关键词: 硬件平台; 配置文件; 上位机; Nucleus; UDP

Design of Relay Protection Hardware Platform Testing Software Integration

SUN Zhen-Hua, GAO Chuan-Fa, ZHANG Ting, REN Hua-Feng

(XJ Electric Co. Ltd., XuChang 461000, China)

Abstract: According to different application requirements, certain differences exist in peripherals of relay protection hardware platform. The old testing software has some problems, including poor universality and repetitive design. To solve these problems, a testing software architecture based on the configuration file is designed hierarchically and modularly. This approach improves the universality and scalability of the testing software, and realizes the integration of the testing software structure. Parts of the software architecture, including the configuration file, the embedded testing software and PC software are introduced in detail, and the use of the software is illustrated. At present the testing software has achieved good effect in the testing of MPC8309 hardware platform, and is easy to be transplanted and applied to other hardware platform testing.

Key words: hardware platform; configuration file; PC; nucleus; UDP

继电保护装置作为电力系统最重要的二次设备之一, 对电力系统的安全稳定运行起着重要作用. 随着科学技术的发展, 继电保护技术向计算机化、网络化、一体化、智能化的方向发展^[1-2]. 微机继电保护硬件平台主要由主控制器、RAM、存储器以及各种外围功能设备等组成. 外围功能设备主要有 AD 采样、开入开出、通信接口(串口、以太网、CAN 等)、人机交互接口等. 在继电保护硬件平台样机研制阶段和生产调试阶段, 需要对各外部设备进行测试, 进行功能上的验证及性能上的评估, 以保证满足设计的要求.

为满足各种电力系统保护测控装置的需要, 硬件平台 CPU 插件外设组成会有一定的差异. 传统的测试

方法是针对各 CPU 插件设计一套单独的测试程序, 这样即耗时、又费力, 影响研发及生产进度. 针对继电保护硬件平台测试软件开发, 本文采用一种基于配置文件的软件设计架构, 很好地解决了 CPU 插件外设组成存在差异、测试软件通用性差的问题, 实现了测试软件结构的一体化.

1 测试软件总体设计

1.1 软件需求分析

为满足日益增长的硬件测试需求, 需设计更加通用的、功能更加多样的、易于使用的硬件测试程序. 考虑到测试程序的易于维护性, 硬件测试程序在处理器

^① 收稿时间:2015-06-29;收到修改稿时间:2015-08-17

平台的基础上进行设计,对于同一处理器平台的 CPU 插件,硬件测试程序都要具有良好的适用性.功能上针对各硬件测试模块,能够灵活的选择测试方法,以满足不同测试要求.测试软件要有良好的人机交互手段,这样使用者在进行测试的时候更容易上手.软件特性主要有以下几个方面:

- (1)良好的多插件适用性;
- (2)丰富多样的测试方法;
- (3)良好的人机交互,易于使用;
- (4)易于维护,便于移植,可扩展性好.

1.2 软件组织结构

根据需求分析,从实现上软件组织结构主要由 UBOOT 引导程序、嵌入式测试程序、配置文件、PC 上位机软件等几个部分组成,软件系统组织结构总体框图如图 1 所示.

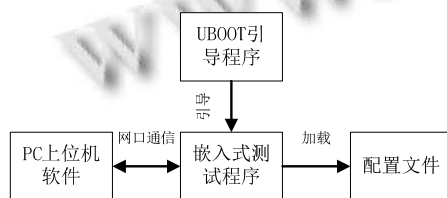


图 1 软件系统组织结构总体框图

(1)UBOOT 引导程序:该部分程序已发布,可以直接使用,无需重新设计.UBOOT 引导程序负责处理器及基本外设的初始化,测试程序的引导加载等.硬件平台上 512KB 的 NOR flash 专门用来存储 UBOOT 引导程序.

(2)嵌入式测试软件:主要负责配置文件的解析,硬件功能模块的初始化,测试方法的实现与执行,以及与上位机软件通信.该程序目标文件下载到大容量 flash(NOR 或着 NAND)的固定地址 0x00000000 位置.

(3)PC 上位机软件:为测试人员提供方便的人机交互界面,下发测试命令及显示测试结果,查看配置信息等.

(4)配置文件:包含各硬件模块的基本配置信息,测试软件据此对各硬件模块进行初始化.该配置文件被下载到 512KB 小容量 NOR flash 的固定偏移地址,嵌入式测试程序只需要从该地址读取数据,进而进行解析.

2 配置文件设计

2.1 引入原因

对于特定 POWERPC 处理器平台,根据不同装置需求的差异,需设计多种型号插件以满足各种应用场合的需要,这样就造成了 CPU 插件的硬件组成的不同.为了区分不同插件的硬件资源配置,避免对嵌入式测试软件的重复开发,引入了配置文件.

特定型号的 CPU 插件对应一个特定的配置文件,该文件包含了该 CPU 插件各个硬件模块的配置信息.配置信息以一定的格式进行组织,嵌入式测试软件对该配置文件进行解析,并根据各个模块的配置信息对各硬件模块进行初始化.

2.2 配置文件格式

配置文件采用 xml 格式文件.XML 是 Extensible Markup Language 的缩写,中文含义为“可扩展标记语言”^[3].XML 采用版本 version="1.0",编码方式 encoding="iso-8859-1".在 XML 文档中,包括元素、属性和元素值(即文档的内容)等几个要素.各设备在文档中都对应一个元素,元素可以嵌套子元素,元素还可以有属性.所有设备元素都包含在根元素 hwconfig 下,构成一个树状结构;根元素具有 boardtype 属性,标识 CPU 插件型号,如 boardtype="npuxxxx";根元素下面的子元素对应各设备的配置信息.以串口设备为例,其配置信息描述如下:

```
<serial>
  <scom>
    <scom>uart1</scom>
    <baudrate>57600</baudrate>
    <baseaddr buswidth=""></baseaddr>
    <transmedia>rs232</transmedia>
    <mode></mode>
  </scom>
  <scom>
    <scom>16c550</scom>
    <baudrate>57600</baudrate>
    <baseaddr buswidth="16">
      0xfa000100
```

```

</baseaddr>
<transmedia>rs485</transmedia>
<mode>halfdup</mode>
<en>rts</en>
<en_level>1</en_level>
<interrupt>irq3</interrupt>
</scom>
    
```

</serial>

上述信息表明，该硬件平台具有两个串口设备，并且分别描述了每个串口设备的控制器名称、波特率、基地址及位宽、传输介质、通讯方式、使能方式、使能电平以及所用中断等。各元素值根据具体情况可以为空，程序根据这些信息对每个串口进行初始化。

3 嵌入式测试软件设计

3.1 操作系统选型

本系统采用 Nucleus 实时操作系统。Nucleus 的核心 Nucleus PLUS 是一个实时多任务内核。Nucleus PLUS 是为实时要求较高的嵌入式应用设计的实时、任务抢先式、多任务内核。Nucleus PLUS 约 95% 的源码是用 ANSI C 编写的，具有很好的可移植性，可以用于绝大多数的微处理器。Nucleus Plus 在通讯、国防、工业控制、航空航天、铁路、网络、自动化控制、智能家电等领域获得了广泛应用^[4-7]。

Nucleus Plus 操作系统首先初始化和目标板有关的部分，主要有设置必要的处理器或系统控制寄存器、初始化中断向量、初始化系统堆栈、设置定时中断等；然后初始化系统组件，包括线程控制、邮箱、队列、管道、信号量、事件、分区内存、动态内存、定时器；最后完成任务、消息队列等的创建、中断服务的注册以及应用程序的初始化。当所有初始化完成之后，系统开始线程调度。

3.2 与上位机通信

嵌入式测试软件与上位机软件使用以太网口连接 PC 机进行数据交互，可以实现更快的数据传输速率，进行大批量数据传输，而且和 PC 的连接也更加方便快捷。图 2 为硬件平台与 PC 通信连接示意图。

TCP/IP 协议是一组包括 TCP 协议和 IP 协议，UDP 协议、ICMP 协议和其他一些协议的协议组，其中传输层协议有传输控制协议(TCP)、用户数据报协议(UDP)

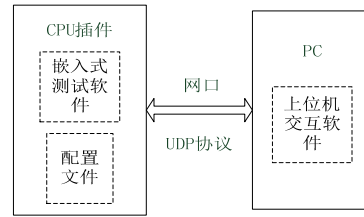


图 2 硬件平台与 PC 通信连接示意图

等。从本系统的实际应用特点出发，传输层协议采用 UDP 更合适。UDP 协议不需要建立连接，相应速度快，具有较少的流量控制和差错控制，系统开销比较小，适合局域网内部通信^[8-10]。为方便软件解包，对数据包的数据段格式进行约定，如表 1 所示。

表 1 数据包格式

段名	头部	测试项	设备编号	测试方法	数据长度	数据	尾部
长度(Byte)	2	4	1	4	3	-	2

头部和尾部表明该数据包为本系统通信数据包；测试项指明待测设备类型，如 AD 采样、开入、开出、串口、CAN、实时时钟等；在有些情况下某一类设备有多个具体设备或分组，这就需要通过设备编号区分；程序通过测试方法段选择相应的测试函数并执行测试任务；数据段为测试过程中产生的数据、测试报告或 PC 上位机下发命令时所需要的数据等，其长度是可变的，由数据长度段指定。以实时时钟举例说明，PC 上位机读取装置时间命令如下：dsrtc##gtm#000de。ds 和 de 为头部和尾部；rtc#为测试项；设备编号不需要，设为#；gtm#为测试方法，即读取装置时间；000 为数据长度段，表明该命令数据段长度为 0。

3.3 软件结构设计

软件结构设计过程中，不仅要考虑到满足当前硬件平台测试需求，还要充分考虑到当被测硬件平台组成发生变化时，在不改动测试软件的情况下测试需求也能够得到满足。在软件设计过程中要很好的贯彻一体化的设计思想，设计通用性强、可扩展性好的测试软件。

嵌入式测试软件的设计采用分层化、模块化的设计思想。按照层次软件划分为硬件配置层、设备抽象层、测试处理层，如图 3 所示。

硬件配置层：加载配置文件，并对配置文件进行解析，将设备的硬件配置信息存储到相应的结构体中。每一类设备对应一个结构体变量或结构体变量数组，

如对于串口来说包含其控制器名称、波特率、基地址及位宽、传输介质、通讯方式、使能方式、使能电平以及所用中断等,与配置文件中的信息是对应的。

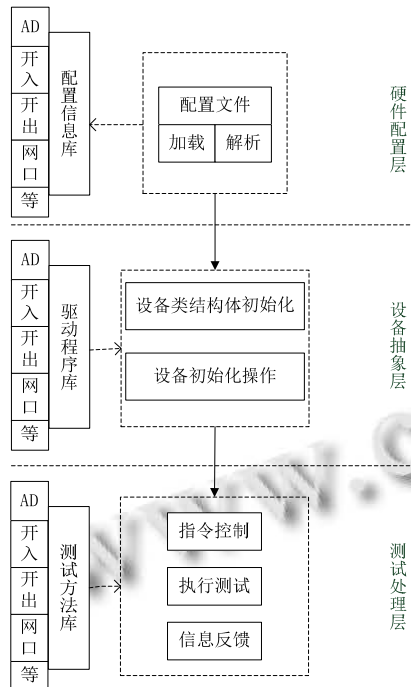


图3 嵌入式测试软件分层结构

设备抽象层: 对于某一类设备,根据硬件实现方式的不同,需要不同的设备驱动程序,针对某一类设备设计统一的接口函数。根据各设备硬件配置信息选择相应的驱动程序接口函数,初始化设备类结构体,并调用相应的初始化函数对具体设备进行初始化操作,为执行测试做好准备。设备抽象层将系统的软件和硬件部分相对分隔,使得系统的设备驱动模块与硬件设备无关,从而大大提高了系统的可移植性^[11]。

测试处理层: 接收测试命令并执行测试任务。测试方法的设计及测试任务的执行都是基于设备抽象层完成的。对于每一类设备,测试程序都有一套相应的测试方法,程序根据上位机交互界面下发的测试命令选择对应的测试方法,调用相应的测试函数,对该设备进行针对性测试。如 AD 采样类设备对应的测试方法有获取原始采样值、系数矫正、读取配置信息、读取测试报告等方法。

嵌入式测试程序在操作系统运行起来后,首先从 flash 中读取配置文件并对其进行解析,然后根据各设备的硬件配置信息对各硬件设备进行初始化工作,进

而转为指令接收、指令解析及执行测试任务等工作。嵌入式测试程序主要有指令接收进程、指令解析及执行进程等。

指令接收进程负责接收 PC 上位机发送的 UDP 通信数据包,并将接收到的指令数据包存入接收数据包缓冲区中。综合考虑接收进程和解析执行进程的处理速度,将数据包缓冲区深度定为 128,即最多可以存 128 个数据包,这样既可以满足测试程序的需要,又不至于浪费系统内存。

指令解析及执行进程负责解析接收到指令数据包,选择具体的测试设备和测试方法,并执行测试任务,其决策机制如图 4 所示;将测试结果及测试过程中产生的测试数据以一定的帧格式反馈给 PC 上位机,供测试人员查看和处理。

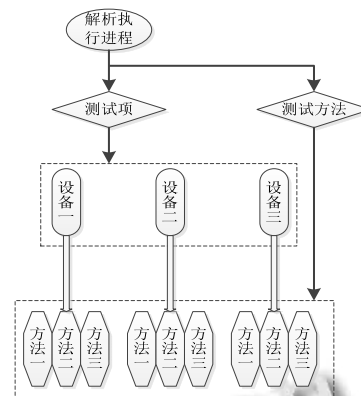


图4 指令解析及执行进程决策机制

4 PC上位机软件

本系统采用 delphi7 开发环境设计开发 PC 上位机软件。Delphi 是 Borland 公司推出的一种方便快捷的应用程序开发工具。它是以可视化的用户图形界面为开发环境,采用面向对象的编程语言 Object Pascal,并具有强大的数据库支持功能^[12,13]。

PC 上位机软件为测试人员提供良好的人机交互手段、可视化的人机交互界面。测试人员按照测试需要下发测试命令,装置 CPU 插件接收到命令执行相应的测试任务,并将测试结果反馈给 PC 上位机软件,方便查看和记录。PC 上位机与装置通过网口、使用 UDP 协议进行通信,数据格式上文已经说明,见表 1。PC 上位机软件组织结构如图 5 所示,主要实现了以下功能:

(1)通信参数的设置,包括串口及 UDP 通信参数等。

(2)测试项测试命令的下发, 及测试信息和测试数据的反馈接收.

(3)测试日志及测试报告的保存.

(4)串口及 UDP 控制台、TFTP 服务器、程序及配置文件烧写等工具, 方便程序的下载更新.

(5)地址空间读写及程序变量查看器, 为测试人员直接操作地址空间及查看程序变量提供方便, 增加了测试的灵活性.

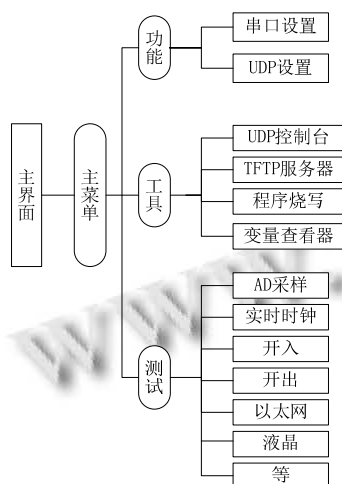


图 5 上位机软件组织结构

5 应用实例

本部分对该一体化测试软件在基于 MPC8309 处理器的继电保护硬件平台测试中的应用进行系统说明. 整个测试过程是步步分阶段进行的. 在 MPC8309 平台下设计了多个 CPU 和通信插件, 各插件在外设配置上有所不同. 首先针对各 CPU 和通信插件编写各自的配置文件, 统一命名为 hwconfig.xml; 在确认插件电源供电没有问题后, 使用仿真器将 UBOOT 引导程序烧到 flash, 将插件调试串口与 PC 机串口连接, 通过串口控制台监视 UBOOT 运行情况, 查看 UBOOT 输出信息及使用相关 UBOOT 命令, 保证 RAM、flash 及调试网口等外围基本设备功能正常; 然后通过 TFTP 命令将嵌入式测试软件、FPGA 程序及对应配置文件烧写到 flash 指定位置. 断电重启, 连接 CPU 调试网口到 PC 机, PC 上位机软件设置好目标 IP、端口等参数后, 对硬件平台的其他外围设备如 AD 采样、开入开出、液晶显示、键盘、网口等进行功能测试和性能评估. 也可以使用该测试软件对某一外围设备进行针对性测试.

以某型号继电保护装置为例, 该装置有两个 CPU 插件和一个通信管理(MMI)插件, 它们之间通过高速以太网进行互连互通, 通过使用该测试软件, 我们对该装置内部互连以太网口的通信可靠性进行了针对性测试. 测试环境为老化室、温度 50℃, 时间约 40 小时; 装置上电后内部网口即开始相互收发数据, 每隔 650us 发送一包数据, 数据包长度均 800 个字节; 使用 PC 上位机软件查看测试数据. 实际对多台该型号的装置进行了测试, 现将其中一台的测试数据列出, 如表 2 所示.

表 2 某装置内部网口通信测试数据

插件	网口编号	接收包	错误包
MMI	1	223882974	0
	2	223883259	0
CPU1	1	223941834	0
	2	223936541	0
CPU2	1	223988144	0
	2	223983127	0

测试结果表明该装置内部网口通信收发正常、可靠性好, 没有发现丢包误包现象.

6 结语

本文通过使用配置文件实现了继电保护硬件平台测试程序的一体化设计, 只需要针对不同 CPU 插件编写相应的配置文件, 不需重新开发底层嵌入式测试软件. 嵌入式测试软件采用分层化和模块化设计, 通用性强、方便移植、可扩展性好, 提高了产品测试效率, 缩短了产品研发周期. 目前在基于 MPC8309 的硬件平台上得到了广泛的应用, 取得了良好的效果. 并且该测试软件可移植性好, 只需要对底层嵌入式测试软件稍加修改, 就可以应用到 MPC8313、MPC8377 等硬件平台的测试.

参考文献

- 黎强, 李延新. 基于数字化变电站的系统保护装置设计. 电力系统自动化, 2009, 33(18): 77-81.
- 应站煌, 胡建斌, 赵瑞东, 李保恩. 继电保护装置自动测试系统研究和设计. 电力系统保护与控制, 2010, 38(17): 142-146.
- 卢啸龙. XML 完全实例教程. 北京: 电子工业出版社, 2001.
- 陈发堂, 朱明, 庾勤, 周元元. 基于 Nucleus Plus 的 RLC 层定时器的设计. 电子技术应用, 2013, 39(11): 122-124.

- 5 Accelerated Technology. Nucleus PLUS Internals. 6/1999.
- 6 Accelerated Technology. Nucleus PLUS Reference Manual, 6/1999.
- 7 贺磊.一种嵌入式实时操作系统 Nucleus Plus.信息工程大学学报,2000,1(4):51-54.
- 8 赵飞,叶震.UDP 协议与 TCP 协议的对比分析与可靠性改进.计算机技术与发展,2006,16(9):219-221.
- 9 张永峰.基于 UDP 协议的航空发动机振动实时监视系统设计.测控技术,2015,34(3):55-58.
- 10 孙露,王黎明.基于 UDP/IP 协议分布式测试高速数据传输嵌入系统设计.核电子学与探测技术,2014,34(6): 750-753.
- 11 郭茂,孙莉莉,郑国勤.嵌入式系统中设备抽象层的设计.自动化仪表,2005,26(9):21-22,25.
- 12 求是科技.Delphi7 程序设计与开发大全.北京:人民邮电出版社,2004.
- 13 王建勋,吕群芳,刘会金.基于 Delphi 和 Matlab 混合编程的配电网无功优化软件设计.电力自动化设备,2011,31(4): 112-115.