

论用 Linux/ PC 构建电力系统 SCADA 通用平台

周拥华¹,程时杰¹,黄立滨²,罗成²

(1. 华中科技大学电气工程学院,湖北 武汉 430074; 2. 河南许昌许继集团,河南 许昌 461000)

摘要: 为向我国 220kV 及以上电压等级的 SCADA 系统提供可靠性高、普遍实用、具有自主知识产权且性能价格比高的系统软硬件平台,结合计算机技术发展的最新成果,论述了基于 Intel 架构的 PC 服务器与 Linux 操作系统用于构建 SCADA 平台的必要性和可行性,同时提出了平台的构建方案。从电力系统中广泛存在的监控后台需求出发,讨论了现有 Solaris/ Sparc、MS Windows/ Intel 等多种方案的局限性,并针对 PC 的局限,着重论述了各项关键指标的解决办法。得出的结论是,采用该 Linux 操作系统构建的平台,可以降低成本,提高性能,最大限度地满足电力系统监控与自动化技术发展的需要。

关键词: PC 服务器; 变电站; 综合自动化; 廉价磁盘冗余阵列; 对称多处理器; 自动故障冗余

中图分类号: TM73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)04-0046-05

1 引言

随着信息技术、自动化控制技术的飞速发展,电力系统对各种监控系统尤其是变电站综合自动化系统的要求也越来越高。这意味着在数据采集、数据通信以及数据处理、存储等方面都将面临新的挑战。在计算机领域,Sun Sparc、HP Alpha 等高端计算机系统的价格依然不菲,而从性能上来说,类似 Sun Ultra 系列的工作站和低端服务器的性能却并不十分优越。另一方面,商用的 Unix 系统虽然已经广泛应用于高端领域,但缺乏这一平台上的研发与技术支持人员,很多关键技术还依赖于国外,而 MS Windows 虽然已经被广泛接受,但它在稳定性、安全性等方面还一直没有达到相对严格的工业控制的要求。实践表明,Unix/ Sparc、Unix/ Alpha 这样的系统技术起点

高,成本大,而 MS Windows/ PC 又难以满足工业控制的要求。同时,Unix、Windows 操作系统依然完全依赖于国外,其核心并不公开,难以满足发展中的电力信息系统安全的需要。为适应这一要求,本文提出了采用 Linux/ PC 构建通用平台的设想和实现方案。

2 电力 SCADA 对系统平台的要求

电力系统的发展直接导致变电站复杂程度的增高,而变电站的稳定运行又直接影响到电力系统的安全与稳定,因此,作为变电站监控的系统平台就很重要。我国自 80 年代以来,在 500kV 变电站综合自动化领域,一直在努力改变全盘引进的局面,目前已经开始拥有了自主研发的系统。但其计算机平台,由于稳定性要求等因素,无论是其硬件还是其操作系统,都还一直依赖于国外。

[2] 曹建猷. 供电系统[M]. 北京:中国铁道出版社,1993.

[3] 周有庆,等. 湖南大学差动保护研究与运行课题科研资料[Z]. 湖南大学,1992.

任雪涛(1972-),男,工程师,现从事铁路供配电二次系统研制工作;

郭华(1976-),男,助工,现从事铁路供配电二次系统研制工作;

谷锦滨(1971-),女,助工,现从事铁路供配电二次系统研制工作。

收稿日期: 2002-07-31; 修回日期: 2003-01-07

作者简介:

Research on the new electrification railway transformer protection based on DSP

REN Xue-tao, GUO Hua, GU Jir-bin, MA Shui-sheng, GUO Qir-jian

(XI Group Corporation, Xuchang 461000, China)

Abstract: The feature and configuration are introduced for the new generation of electrification railway transformer protection. Its main protective principle and criterion are analyzed. The protection is equipped with perfect protective functions and powerful auxiliary functions, and it passed the ministerial appraise in May 2000. The protection has been widely delivered in China with good operation experience in site.

Key words: DSP; main transformer; protection

从历史和现状看,500 kV 变电站对系统性能指标的要求主要还是在可靠性方面,就发展趋势而言,在速度上的要求也在逐步提高。

根据现有变电站的实际情况和发展趋势看,变电站综合自动化的后台监控计算机必须满足的主要条件如下^[1]:

(1) 平均故障间隔时间(MTBF)不小于 2 万 h,系统可用率不小于 99.9%;

(2) 主机正常负荷率宜低于 30%,事故负荷率宜低于 50%。

其它如电磁兼容、抗干扰等具体参数可参见相关标准。

3 计算机系统架构——两种平台

计算机发展的最重要标志就是其架构(Architecture)与 IC 工艺的发展。随着计算机在商业领域的普及,为满足各种应用的系统架构不断出现,对通用的科学计算与数据处理计算机而言,主要可分为精简指令系统(RISC)和复杂指令系统(CISC)两种,前者属高端领域,后者则是 PC 的核心。由于设计的目的、应用的领域不同,针对这两种平台设计的操作系统也各有千秋,下面对它们分别论述。

3.1 RISC 系统与 Unix

最初精简指令系统计算机(RISC)的设计目的是满足科学计算(军方)的需要,具有稳定可靠的特点,这个特点传递给了在这个平台上开发的操作系统和应用软件。同时,由于其定位在复杂的科学计算,起点较高,也就比较昂贵。它不仅在高端的应用(小型机到巨型机)中成本非常高,即使是在低端的工作站,价格也不菲。另一方面,由于体系结构的原因,它往往要求其外围设备(如基本输入输出设备)必须自己具备处理数据的能力,这样才能使 CPU 集中精力处理好必要的计算和调度任务,这进一步增加了系统的成本,同时,由于商业化发展,各公司的 RISC 系统并不兼容,配件也必须来自原厂,所以扩展、维护成本也非常高。

Unix 系统最初设计用来管理庞大的 RISC 系统,由于其使用者都是专业人士,因此其使用、配置和开发都比较复杂,即使在 XWindows 出现后,由于其一贯的作风,要想深入 Unix 系统,仍然具有较高的难度。另外,随着 Unix/RISC 的商业化,各个厂商都推出了各自的版本,相互之间虽然遵循 POSIX 标准,但兼容性很差,再加上 Unix/RISC 系统昂贵的价格,进一步提高了进入该平台的门槛。

3.2 复杂指令系统与 Windows、Linux

Intel x86 是 CISC 系统的代表,其最初的设计目的是为了满足不同公司及个人的需要,它追求超出浮点计算范畴的各种处理能力和速度(如字处理、多媒体处理等),同时要降低成本,使之适合于普通家庭用户。其体系结构允许 CPU 承担所有输入输出的处理工作。另一方面,它具有广泛兼容的系统总线接口,因此其扩展非常方便。虽然这种系统最初定位很低,而且没有太多考虑严格的工业与科学应用要求。但随着技术发展,IC 制造工艺的不断提高,以往仅用于高端系统的 RISC 领域的技术被越来越多地应用于 PC 中,使得 PC 有了更多的层次,逐渐进入高端工业控制与科学计算领域。

复杂指令系统计算机在处理器指令集中包含了更多的便捷可用的指令,简化了用户程序的设计。其主流操作系统从最初的 DOS 发展到现在的 Windows XP,采取的是一种傻瓜式路线,即降低计算机的使用难度,使非专业人士也能轻松使用。虽然在 NT 以后的版本中逐步提高了系统的安全性和可靠性,但其图形系统被规划在内核中,缺乏灵活性,系统性能等也大受影响。

90 年代出现的 Linux 改变了 Windows 一统 CISC 软件平台的天下。Linux 不仅继承并发扬了 Unix 优点,更多方采纳了现代操作系统的各种技术。如内核模块动态加载技术等。使得系统内核可灵活配置。另一方面,由于其属于免费操作系统,并且开放所有源代码,使用者可以轻松获得必要的资料,因而 Linux 的志愿者也很多,结果不仅大大降低了其技术门槛,而且使系统越来越易于使用,这个系统的应用也因此迅速推广开来。

3.3 两种平台在电力系统中的应用

以上两种系统架构一直是计算机硬件的两大主流,以它们为核心构成的不同硬件平台,其外部总线、存储设备及其它外部设备都有很大的区别,但随着技术的发展又慢慢趋于一致,各种技术的揉和,使得 PC 不仅廉价、高效,而且具备了越来越高的可靠性。

在我国电力系统中,以往高电压等级的 SCADA 都采用 Unix/RISC 系统,应用最为普及的是其代表 Solaris/Sparc(通常使用它们的低端工作站作为平台,因此通称为工作站)。而 Windows/CISC 系统(以 Intel x86 为代表,称为 Intel Architecture,即 IA,也就是常说的 PC),往往只作为辅助计算机。造成这种局面并非完全是由于 PC 本身的原因,在我国工业

领域广泛应用的工控机大多数也是 Intel 架构,主要原因是处理能力、存储容量、可靠性等指标之间没有找到合适的结合点。

随着 Linux 操作系统和 PC 硬件的不断完善,现在我们有了另一种选择,就是 Linux/PC 平台。

4 新技术对 PC 的完善

将 PC 与工作站相比较,就硬件而言,PC 主要还是在性能和稳定可靠两个方面存在不足。新技术的发展对此进行了完善^[2]。

虽然以 Intel 的 x86 芯片为核心的 PC 并不是为严格的工业控制设计的,但随着设计与制造工艺的共同发展,使得它以及它的外围器件都越来越成熟和稳定,而 Linux 操作系统的出现,更是弥补了 PC 在高端应用中的操作系统空白。这两者的结合,加上近几年来各种属于小型机的高端技术在 PC 领域的应用,使我们可以设计一个可满足不断发展的电力监控系统后台要求的通用平台。

在处理器的性能方面,以 Pentium PRO 为代表的 IA32 处理器的诞生标志着 PC 服务器/工作站进入市场,它支持对称多处理器(SMP)技术,在一台计算机内用多个 CPU 构成并行处理系统。1998 年 Intel 推出的 PII Xeon 处理器更是被业界所推崇。Xeon 的设计目的是为了满足不同企业级服务器与工作站的需要,可应用于严格要求的商业环境;它支持 SMP,与同期的 Pentium 处理器比较,具有更多更快的二级缓存,从而具有更好的性能。随着多级流水线处理技术的采用,尤其是最近 64 位架构的出现更突破了传统 IA 的局限,大大提高了 PC 的性能。

在总线与接口方面,PC 不断扩展其先进的 PCI 总线,从 32 位到 64 位,从 33MHz 到 66MHz,PCI 总线性能不断提高。为适应严格要求的工业控制环境而设计的 CompactPCI 总线技术在提高 PC 工控机性能的同时,更进一步提高了 PC 系统的稳定性。

在最重要的磁盘系统中,SCSI(小型计算机系统接口)在 PC 上的应用大大提高了 PC 的数据吞吐能力,尤其是硬盘系统的可靠性(寿命);冗余磁盘阵(RAID)的引入更是大大刺激了 PC 在数据库方面的应用^{[3][4]}。冗余磁盘阵列本是高端服务器的专有技术,但随着该技术成本的降低,它开始被应用于 PC 服务器领域。目前的主流 RAID 卡结合 SCSI Ultra 160/Ultra 3,采用基本的 RAID1 或 RAID5 能达到很好的性能和故障冗余效果,而低成本的 IDE RAID 甚至 Linux 系统的软件 RAID 技术至少在很大程度上

提高了系统数据的安全可靠性。

网络的性能与故障冗余在工业控制中也很重要,在高端服务器领域,已经有了各种负荷均衡和自动故障冗余措施。这些技术已经被应用到了 PC 中。以 Intel PRO 100 + Dual Port Server Adapter 为例,它可以在 32 位 PCI 总线上提供 Team 工作模式,这是一种相对简单的基于数据链路层的负荷均衡与故障冗余技术。但可以通过使用该技术,非常便捷地得到能够满足电力系统监控后台所需要的故障冗余功能,甚至可以利用多块这样的网络适配器进行负荷均衡,以达到提高网络性能的目的。

其它如双电源技术,都已经非常成熟。随着时代的进步,越来越多的 RISC 系统技术应用到普通 PC 中,也使得 CISC 与 RISC 的差距慢慢缩小,从现有条件看,完全可以在 PC 平台上,用最少的投资,构成性能非常不错的系统。

5 Linux 操作系统及其应用

5.1 Linux 的现状与广泛的支持

Linux 从推出至今,不过短短 10 年时间,在这 10 年中,它的发展速度超过了以往任何一种操作系统,经过 10 年的发展,Linux 不仅成熟起来,而且得到了非常广泛的应用。

Linux 内核的发展一直掌握在 Linus 所领导的一个开放小组的统一控制下,这既保证了 Linux 的稳定发展,也使得各种好的建议能纳入新版本的计划中。

随着商机的出现,Oracle、IBM、DELL 等大型厂商也正式对外宣称支持 Linux,Oracle 推出了其著名数据库 Oracle 的 Linux 版本,IBM 更是斥资 10 亿美元,放弃其 AIX 系统的继续研发,转而在其所有硬件平台上采用 Linux。

现有被广泛使用的 Linux 发行版主要包括我国的 RedFlag(红旗,已经成功应用于银行——中国农行、嵌入式系统——福利彩票系统、政府机构以及陕西电力等),北美的 RedHat(红帽子,已经被广泛应用于各行各业,如电影特效处理等),欧洲的 SuSe(德国)等,这些发行版都依据 Linux 内核以及桌面系统版本的更新而不断推出新的版本,每个系统的国际性支持都在不断提高,目前发行版都可以很好地支持中文输入与显示。

在外围硬件的支持方面,虽然 PC 的各种配件很多,供应商也非常多,甚至比较杂乱,但都有 PC 兼容的标准,随着 Linux 的推广普及,各种常用配

件、甚至工业领域的专业配件,也都有了 Linux 版本的驱动,这个范围还正在进一步扩大。

5.2 Linux 的特色

Linux 在 PC 平台上出色的性能表现是众多用户选用 Linux 作为他们的商业服务器的主要原因之一,与 Windows 相比,在多任务、多用户的网络环境下,Linux 的性能远远超过 Windows^[5],这是 Linux 先进的进程管理、内存管理以及高性能的文件系统所决定的^[6]。

Linux 实际上是从 Unix 发展过来的,应该说是 Unix 的一种变体。Linux 继承了 Unix 稳定可靠的特点(通过系统机制来保证),正因为如此,威胁 Windows 系统、数据安全的各种病毒在 Linux 下就几乎不存在。而且,现在每个 Linux 发行套件中都包涵功能强大的防火墙,可以很好地限制来自网络的各种访问,有效地提高了系统的安全性。

Linux 操作系统内核统一,在可移植性方面 Linux 目前的主流硬件平台还是 PC,但这并不意味着它不能在其它平台上使用,最新的 Linux 2.4.x 内核支持包括 IA32/ IA64/ SPARC/ ALPHA,甚至几乎所有大型机、巨型机系统硬件平台。

由于采用现代内核机制,Linux 的内核具有模块可加载特性,这意味着用户在不修改内核源程序的情况下就可以根据实际需要定制内核中功能部分,使得系统更专业,具有更高的效率。与 Windows 和传统的 Unix 相比,这个特点非常突出。Linux 系统也正是基于这一系统架构,非常完美地实现了多硬件平台、SMP 等特性,使得内核的系统性非常强,移植也很方便。

新的 Linux 2.4 内核版本开始支持日志文件系统,这种文件系统与传统的 FAT、NTFS 文件系统比较,关键在于对整个文件实现日志管理,不仅能提高了访问大量小文件时的效率,而且在文件系统出现问题时,也能够自动快速恢复,这一方面降低了维护难度,另一方面增加了文件系统的可靠数据可靠性。

Linux 最具特色的地方是 Open Source, Linux 从内核到每一个发行版都包涵几乎所有应用程序,都是在 GPL 原则下开放源码的,这样,用户不仅能修改源码达到定制系统的目的,而且也能在 GPL 原则下,重用所有的代码,来实现自己的功能。Linux 的源码库是一个宝贵的资源,它不仅为我们提供了学习操作系统的最好环境,而且也为我们编制自己的应用程序提供了宝贵的源代码资源和系统思想。

另外, Linux 下的程序设计语言及平台非常丰

富。值得一提的是 Delphi 和 C++ Builder 两大开发环境的设计商 Borland 公司最近推出的 Kylix 3.0,它不仅提供了 Linux 平台下类似 Delphi 的软件开发环境,甚至提供了与 Delphi 兼容的源代码,这样一来,我们在 Delphi @Windows 下开发的软件,就能很容易地通过 Kylix 移植到 Linux 平台上运行^[7]。

5.3 Linux 在商业与军工各方面的广泛应用

Linux 的商业应用已经非常广泛,著名电影 TITANIC 中的几乎所有电脑特技,后期影片处理都是在 Linux 系统下完成的。目前全世界的 Web 服务器有超过 60% 采用 Linux + Apache 构建,很多商业数据库也采用 Linux 作为系统平台。实践表明,在重负荷、大访问量的网络服务器上,采用 Windows/ 服务器不能达到要求,而使用 Linux/ 服务器或 Linux/ PC-Cluster 就能解决这一问题^[8]。

Linux 在工业控制领域乃至军用方面也已经越来越广泛。例如欧洲的 AutomationX 工业控制软件就是基于 Linux 平台的(www.mnrca.com)。我国电力系统对 Linux 也有尝试性的使用。而嵌入式 Linux 更是被广泛应用于各种场合,例如 PDA、彩票机、甚至照相机中^{[9][10]}。

6 利用 Linux/PC 构建电力 SCADA 通用平台的实现方案

按照电力系统的要求,采用现有的技术条件,完全可以配置一系列性能价格比较比较高的、符合电力系统各级别需要的系统平台,下面给出了一种可能的实现方案。

硬件:PC 工控机或 PC 服务器,可选配置有对称多处理器(SMP,双处理器或 4 处理器)、冗余磁盘阵列(RAID,基于 SCSI 或 IDE 硬盘)、自动故障冗余双口网卡(AFT NIC),以及双机冗余配置。

软件系统:Linux (RedHat 7.x 或 SuSe 7.x ~ 8.x 或者 RedFlag 3.x) 操作系统;基于 XWindows 的图形窗口系统(XFree86 + OpenMotif 桌面管理);MySQL 或 Oracle 数据库;gcc、gtk、qt 等 c/c++ 开发环境、接口库;kdevelop、kylix 等集成开发环境;IPv4 以及 IPv6 网络支持;UnixODBC 可支持通过 ODBC 访问外部微软 ODBC 引擎驱动的商业数据库系统,如 SQL Server 等。

对于 110kV 及以下变电站后台监控,可以采用简单 PC 工控机,开放源码的高性能 MySQL 数据库,配合 Linux 强大的网络功能,可以方便快捷地构建一个开发平台。

对于 220kV 变电站后台监控,可采用 SMP 双处理器系统,沿用 TCP/IP 网络通信,提高系统处理大量 IO 数据的能力。对稳定性以及数据安全性要求较高的变电站,可在单机中采用 IDE RAID,并进行双机冗余配置。数据库可采用 MySQL 或商业数据库如 Oracle 等。

对于重要的 220kV 变电站或 500kV 枢纽变电站,可以对单机采用 SCSI RAID、双网冗余、双电源冗余技术,并采用双机冗余配置。数据可采用商用 Oracle 数据库或 Sybase、DB2 等数据库。这样便能使整个系统达到非常高的安全稳定可靠水平。

7 结语

随着技术的发展,计算机软硬件平台也出现了统一的趋势,事实上,我们今天看到的 PC 和与之对应的微型机、小型机等都已经远远超出了其最初的定义;各种技术的揉和更使得它们在速度、稳定性等各个方面都越来越接近,PC 也开始在很多服务领域取代了以往的高端服务器;而落后于硬件发展的操作系统在三大实力分割天下的局面形成之后(MSWINDOWS、UNIX、LINUX),又在版权、持续研发费用、以及操作系统本身适应现代操作系统的技术特性等因素的作用下,也开始出现两极分化的大趋势,即逐步淘汰 Unix,继而用 Linux 取而代之,IBM、Oracle 以及 HP 等大型厂商的支持就是最好的证明。就现在而言,虽然 Linux/PC 平台依然具有其难以克服的弱点(除内核外的很多软件稳定性较差,尤其是免费的 X 桌面管理系统,中文支持还不够理想等),但采用 Linux/PC 构建电力 SCADA 系统通用平台,无论从技术性、安全性、实用性上看,还是从经济性方面考虑,都不失为一个好的选择。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国电力行业标准. 220kV ~ 500kV 变电所计算机监控系统设计技术规程(报批稿). 中华人民共和国国家经济贸易委员会发布,2001
- [2] Dan Byron. Increasing Availability at the Cost of Reliability, <http://ftp.us.dell.com/app/1q02-Byr.pdf>,2002. 2
- [3] Steve Hogge and Bo Zhou. Understanding Server-Based RAID Using Ultra ATA Technology, <http://ftp.us.dell.com/app/1q02-Hog.pdf>,2002. 3
- [4] Edward Whalen and Leah Schoeb. Using RAID Technology in Database Environments, <http://ftp.us.dell.com/app/raidmana.pdf>,2001. 5
- [5] John Kirch. Microsoft Windows NT Server 4.0 versus UNIX. <http://kirch.net/unix/nt/>,1999. 8.
- [6] 毛德操,胡希明. Linux 内核源代码情景分析[M]. 杭州:浙江大学出版社,2001. 5.
- [7] 乔林. kylix 程序设计-类库参考手册[M]. 北京:中国铁道出版社,2002. 4.
- [8] Hewlett-Packard and GSI. Linux PC Clustering. <http://hp-linux.cern.ch/>,1999. 4.
- [9] 王学龙. 嵌入式 Linux 系统设计与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2001. 8.
- [10] 王永福,等. 基于 Linux 的能量管理系统[J]. 电力系统自动化,2001,(10):55-58.

收稿日期: 2002-09-29

作者简介:

周拥华(1976-),男,硕士,现从事变电站自动化系统研发工作;

程时杰(1945-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统稳定性分析及其智能控制、人工智能在电力系统中的应用和低压电力网载波通信;

黄立滨(1974-),男,硕士,现从事电力系统数字仿真研究与高压直流系统研究工作。

Building a general SCADA platform for power system using Linux/PC

ZHOU Yong-hua¹, CHENG Shi-jie¹, HUANG Li-bin², LUO Cheng²

(1. DEEE, Huazhong Univ. of Sci. & Tech., Wuhan 430074, China; 2. Xuji Group Corp., Xuchang 461000, China)

Abstract: In order to develop a general computer system with high stability, independent copyright and high price performance ratio, this paper discusses the necessity and feasibility of building a general SCADA platform on Linux/PC for power system and puts forward the scheme of building the platform on the basis of the newest technology of computer. According to the wide demands of SCADA in power system, this paper discusses the limitation of popular platforms such as Solaris/Sparc and Windows/PC, and gives some important improvement to overcome this limitation. At last, the paper concludes that by using of the Linux/PC platform it is able to reduce the cost, to improve the performance and to satisfy the developing requirement of power system SCADA technology.

Key words: PC server; substation; integrated automation; RAID; SMP; AFT