

实时 Linux 系统及以太网现场总线的软运动控制平台探索

王海霞 王绪梅

(武汉华夏理工学院, 湖北 武汉 430223)

摘要: 目前, 全球各大经济大国纷纷出台了“振兴制造业”的发展战略, 推动了新一波的工业与科技革命。中国也出台了推动发展高端制造业的“中国制造 2025”计划。作为工业生产中的核心零件, 高质量的控制系统对于提高我国的工业生产水平起着非常重要的作用。为适应日趋复杂的加工要求, 对机器人的操作要求越来越高, 要求其具备很强的开放性和易操作性, 并能够整合各种类型的传感器。当前, 我国许多厂家生产的动作控制器都存在开放性不足, 性价比低, 不易于集成各类传感器等问题, 而且, 许多核心技术都要依靠国外厂商缺乏一定的自主研发能力, 极大地制约了我国的工业制造业发展。针对上述问题, 本文提出了一种基于实时 Linux 系统的软动作控制平台, 设计了一种软运动控制平台, 给出了构建一个运动控制系统的解决方案, 希望可以予以一定参考。

关键词: 实时 Linux 系统; 以太网现场总线; 软运动控制平台; 探索

一、研究背景分析

传统的动作控制器大多采用硬件板的方式来实现, 开放性和扩展性都较差, 不能很好地适应目前的要求。为提高控制器的性能, 近年来在运动控制系统中引入了网络化技术, 以太网技术也随之发展起来。随着计算机技术和实时操作系统技术的不断进步, 以 PC 机为核心的以太网总线为核心的动作控制系统已成为一种普遍的趋势。与传统的控制方式不同, 本项目基于 PC 机与实时系统, 将控制器的重要功能以软件的方式实现, 具有开放性高, 拓扑结构灵活, 通信速率高, 成本低等特点。近几年, 国内动作控制技术有了很大的发展, 但是在高端动作控制方面还比较落后。国内制造企业在关键环节上主要依靠国外的商用解决方案, 并未完全掌握核心技术。因此, 本文提出了一种基于嵌入式实时操作系统和以太网现场总线技术的柔性动作控制平台, 该方法具有较高的开放度和性价比。

二、软运动控制平台功能需求分析

(一) 支持实时以太网现场总线

该系统以运动控制为基本的功能, 其核心是对各装置如同伺服电动机、IO 等进行控制, 以实现预先设定的目标。在此基础上, 提出了一种新的控制方式, 即采用了一种新型的、具有高可靠性和高可靠性的总线。实时以太网总线的类型很多, 有以太网, Profinet 等。能量链接, 道德 VIP 等等。在这些总线中, 以太网总线以其高的通讯速度、较高的数据利用效率和良好的同步性能而著称, 由于其具有柔性的拓扑结构等特性, 已成为国内外许多自动化生产厂家的首选。为了增强系统的开放与柔性, 需要对整个系统进行实时监控, 特别是对 EtherCAT 总线进行监控。

(二) 提供运动控制库并支持算法扩展

为了保证机器人的稳定运行, 需要为其设计出一套完整的、多套完整的机器人系统。PLCopen 动作控制技术在国际上得到了普遍的运用, 所以需要为其设计出一个与之相匹配的动作控件, 以减少开发人员的操作困难, 这对起重机控制系统的使用具有一定的指导作用。另外, 柔性动作控制系统具有更高的开放度, 因此需要为其设计基本的控制界面, 使得使用者可以根据具体的实际情况设计相应的动作控制策略, 并进行相应的算法扩充。

(三) 支持各类传感器

在现代制造业中, 由于加工工艺和工艺水平的不断提升, 使得其加工工艺日趋复杂, 不仅对系统的运动控制能力和系统的智能程度也提出了更高的要求。为了适应日益复杂的控制要求, 在控制系统中通常采用工业摄像机, 并在计算机视觉的辅助下完成更多的控制。另外, 其他类型的传感装置在实际生产中也得到了广泛的使用。所以, 对工业摄像机和各类传感器的支援, 也是一款高档动作控制平台的一个关键特性。

(四) 易于联网

当前, 全球正掀起一场新的科技与产业革命, 加速制造升级, 德国率先推出了“工业 4.0”, 全球多个国家也纷纷推出了自己的制造发展策略。国家已经制定了“中国制造 2025”计划, 要通过互联网来促进产业装备的互联和信息的分享, 提高制造业的智慧水平。在多个工厂中, 移动控制平台作为收集各种工业现场信息的主要载体, 对它的运行方式提出了更高的要求。所以, 实现网络连接的动作控制器也成为了现代控制系统的一项关键技术。

(五) 有良好的人机界面

为了使使用者能够对受控装置进行初始的调试, 对其进行系统的参数和相关的参数进行设定, 因此必须要有一个具有良好的人机接口。另外, 大部分的自动系统都配备了可供使用者进行操作的人机接口。这就要求该系统具有较好的人-机接口, 同时也要求它能够方便地进行人机交互。

三、实时 Linux 系统的构建

实时操作系统 (RTOS) 是一种能够在一定的时间内执行某项工作的运行环境。它分为“硬执行”和“软执行”两个部分, 其中“硬执行”是指在一定的时限之内, 要将某个特定的任务完成, 不然就会产生不可预见的结果。尽可能早地把工作做完, 如果超出了规定的时限, 就不会有生命危险。在当前的情况下, 通常采用对一般的操作系统进行实时扩展, 而对 Windows、Linux 等操作系统进行实时扩展则是一种较为普遍的方法。Linux 与 Windows 相比, 具有高稳定、自由开启过滤等优点, 论文选择了 Linux 平台上的并行扩展技术, 搭建了 Xenomai 的即时操作系统。

(一) 影响 Linux 系统实时性的因素

通用操作系统设计的理念为尽量缩短整个系统的平均响应时间, 提高单位时间内系统处理的任务总数, 注重系统的整体功能需求, 实现更好的平均性能。但这些设计理念却与实时操作系统的要求背道而驰, 影响 Linux 系统实时性的因素主要有如下几个方面:

1. 流程的调度方法。Linux 中采用了两种基于优先权和公平性的调度方法。按优先级调度机制可以让过程根据优先级来安排, 而过程抢占政策只适用于一个过程在用户状态下, 而在核心状态下的过程并不能确保它肯定会被占领, 因此就会发生优先级反转的现象。并没有达到实时的要求。一种公正的分配策略, 确保每一个处理都能合理地使用 CPU 等硬件资源, 使得对运行速度有很大限制的高实时处理不能被优先处理。

2. 核心抢占。Linux 的缺省核心抢占是指一个过程在 CPU 被占用的情况下, 它不能被高优先权处理所占据, 这违背了实时性的需求。Linux 2.6 以后的核心虽然也有优先权, 但在临界区还是不能被抢先, 从原理上来说, 这样的机制只能达到“软实时性”。

3. 中断掩码。Linux 的缺省中断是最大的, 当它执行一个中断

上的一半时,它会将该中断关掉,从而使更高的中断不能得到回应,造成系统故障延迟和计划延迟增加。

4. 粗糙时钟粒度。时钟粒度指的是系统所能实现的最小时间间隔,是操作系统任务调度的最小周期。时钟粒度越大,反应越慢,则会增加网络成本,导致网络传输速率下降。Linux 的最低时钟精度是 0。在实际生产过程中,8 ms 的要求是毫秒级的,不能达到实时性要求。

5. 虚拟内存技术。操作系统一般采取虚拟记忆体的方式来进行记忆体的管理,一般采用分页片段的方式。如果 CPU 想要获得的资料不在缓存中,那么就会对存储页进行交换,这样就会增加了工作的延时,从而不能在指定的时间内完成任务。

(二) Linux 系统实时化改造方案

针对于 Linux 系统实时性较差的问题,现有的实时化改进方法有两种:一是对内重构。本方案在没有做很大改动的情况下,对 Linux 核心源代码进行了直接的改动,从而达到了一个完整的 CPU 可被占用的目的。然而,这样的控制策略只能确保在不影响实际过程的情况下,对实际过程中存在的各种难以预料的影响,所以本项目提出的控制策略具有“软实时”特性。二是采用双内核的方法。即构建一个与 Linux 核心并行的实时微内核。实时执行的全部实时性由核心负责,确保了系统的实时性。在两个操作系统的中间,建立了一个即时的内核,以取代 Linux 和 check-kernel。采用双核方式,既能达到较高的实时性,又能达到很强的实时性,又能确保 Linux 系统自身的稳定运行。在对以上两种实现方式进行对比和比较后,我们提出了一种采用双核方式的解决方法,采用的是 Xenomai 实时处理技术。

(三) Xenomai 实时系统的构建

Xenomai 采用 ADEOS (OS Adaptive Domain Environment, ADEOS) 来完成对硬件级中断的处理与控制。ADEOS 采用“域”思想来实现对多个 OS 核的控制,多个 OS 核在 ADEOS 所支持的领域中运行,通过设定各领域的优先权来确保各领域的工作优先权。

Xenomai 在开发过程中,采用了 ADEOS 的编程语言,使其能够与各种不同的实时操作系统相适应。Xenomai 中的每一个功能模块都被称作 Xenomai “skin”,它支持与诸如 vxworks 之类的即时应用程序接口,因此可以在源代码层面上达到软件的兼容性,并改善了软件的可移植性。Xenomai 公司的 RTL (Real-Driver Programming Model) 为核心软件提供了一种基于 Linux 内核的嵌入式系统。

在开发 Xenomai 的时候,首先要对一个具有即时修补程序的核心进行编译,这里使用的 linux 核心代码是 3.18.20,而 Linux 的 Xenomai 则是 2.6.5,而 Ubuntu4.04.6 则是它的操作系统。首先要下载 linux 的核心代码和 Xenomai 的源代码,还有一些即时的修补程序,因为这个程序的工作量比较大,所以要在一个高效能的开发机上运行,具体的工作流程是这样的:

1. 开发机器与正在运行的机器一起安装了一个汇编链接和一个依赖库。在 Ubuntu4.04.6 中,使用了 gcc-4.8 来编辑 linux 内核的编译链接,该程序是在一个开发者的终端上完成的。

2. 对运行中的核心设置进行了设置,并对其进行了即时的修补。在你开始编写 linux 代码之前,你要先设定你的系统的函数,然后你要在一个正在运行的机器上运行一个已编译好的核心,所以设置要和运行中的机器一样,这样做的目的是把正在运行的 / 根目录中的 conffg 文件拷贝到要被编辑的 Linux 源代码中,然后将其命名为 conffg。在命令行输入 linux 的源代码,然后用这个脚本对 linux 源代码进行修补。

3. 对核心进行即时设置。关掉那些会对实时性产生负面作用

的功能,比如 linux 核心处理器的节能管理,以及为实时系统设置最大堆栈存储器等。一旦完成了配置,就可以启动编译了。

4. 将核心映像已在运行的机器上进行安装,并将 Xenomai 的使用者空间库装上。在运行中的机器上,将 Xenomai-2.6.5 的源代码进行下载、编译和安装。

通过对 Xenomai 软件中的延迟时间进行了检测,并对其进行了性能分析。本机采用英特尔 J1900 系列芯片,以循环回放清晰影像来提高系统负荷,并在 6 个小时后延后试验中修正负延时,该系统具有较高的时延,能够很好地满足柔性动作控制系统对实时性的要求。

四、软运动控制平台软件架构

基于已搭建好的嵌入式实时操作系统,采用两种以太网总线为驱动器,搭建了一套柔性动作控制器。它的终极形态由两个方面组成:一个是平台的管理工具,另一个则是一个功能构件。该系统的各个模块分别由两个层次组成:下层通讯线程和用户接口库。

在此基础上,提出了一种新的基于网络的总线网络模型。并在该系统中产生相应的相关信息。该软件为主机和从台提供了一些设置,如主机和从台,可以设置参数,并产生一个用于记录参数的概要。当使用者在进行应用程式设计时,可以透过该平台所提供的介面来取得相关资讯,以达到简化程式开发的目的。另外,该软件还实现了监控软件在执行过程中的各项性能指标,方便使用者进行分析。

该平台的功能部件是该控制平台的一个软件本体,它包括自己所使用的通讯线程库和一个供使用者使用的使用者接口库,而以 EtherCAT 和 EtherMAC 总线调用协议栈来实现与从站之间的数据交换的实时线程作为基础,执行绪将个别资料分配至执行绪 II 之处理序之变童资源。在 Linux 环境中,使用者可以使用该介面来建立自己的应用。使用者介面库主要包括为控制介面、管理介面、动作控制介面等。系统的界面管理模块的作用是:起停、停、停等。该运动控制界面实现了对伺服系统和 10 个器件的控制。其调整数量将最终影响下层流量计划向从程序分配的可变资源,进而实现对从程序的控制。

将系统设计成两个层次,分别是即时级和非实时性层次。在实时间层次上,主要是针对一些要求实时处理的算法。首先,通过对该系统进行操作,使其能够根据自身所具备的操作能力来实现对系统的操作。同时,该系统还提供了一个较低的轴心控制界面和 PDO 界面,可以让使用者根据不同的应用场合对不同的算法进行扩展。

五、结语

综上所述,运动控制器是工业设备“大脑”,是制造业领域最为重要的部件之一。先进运动控制器的发展,是提升制造业水平的关键。如今,各类产品的制造越来越复杂,运动控制器须不断满足当前的各种先进制造工艺,从而满足先进制造业日新月异的制造需求。

参考文献:

- [1] 黄鹏,王亚午,叶雯璐,吴俊东,苏春翌.基于介电弹性体的软体机器人设计、建模与运动控制研究综述[J].控制工程,2023,30(08):1389-1401.
- [2] 冯依嘉,王雷,孟丽平.Linux 操作系统中 JDK 和 Eclipse 的安装和使用[J].电脑编程技巧与维护,2023(07):41-44.
- [3] 王浩宇.Linux 系统进程运行轨迹跟踪与性能统计程序设计[J].科技与创新,2023(13):66-68.
- [4] 董瀚泽.试论 Linux 系统下计算机 C 语言的编程技巧[J].产业科技创新,2023,5(03):69-71.