

基于总线和网络技术的开放式可监控数控系统*

徐 跃 王太勇 赵艳菊 董靖川

【摘要】 构建了一个基于2层网络的可监控数控系统。控制器基于PC架构,使用Windows 2000操作系统,在进行实时扩展之后,弥补了操作系统实时性不足的弱点。将Profibus-DP总线和SERCOS总线应用于控制器设计中,解决了数控系统因信息交互密集而产生的实时性、可靠性差的问题。将故障监测与诊断技术用于数控系统设计中,构建了层次化的可监控体系,开发了原型机,在数控系统网络化研究方面进行了探索。

关键词: 数控系统 监控 SERCOS总线 层次化

中图分类号: TH165 **文献标识码:** A

Open and Monitoring CNC System Based on Bus and Network Technology

Xu Yue Wang Taiyong Zhao Yanju Dong Jingchuan
(Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract

A monitor CNC system based on tow-layer-network was designed. Its controller was based on PC structure, and Windows 2000 operating-system was used, and whose real-time weakness has been solved by RTX. The problems of bad real-time and reliability which were caused by condensed information exchange have been solved by using Profibus-DP and SERCOS bus. Fault monitoring and diagnosis technologies were contact with CNC system designation and a layer-monitoring architecture has been created in prototype machine. Heuristic working in CNC system's network has been done.

Key words CNC system, Monitoring, SERCOS bus, Layering

引言

目前开放化是数控系统的研究热点。开放式的技术基础就是系统的模块化,然而这种模块化的设计在实现数控系统增量式功能拓展的同时,往往因追求密集的软硬件设计而造成数控系统体积庞大,接口繁杂,功能重叠等负面效应^[1~3]。集中式模块化设计中模块间的模拟量及并行连线的方式,也使得数控系统的整体结构变得复杂,造成在信息交互密集的情况下,系统的实时性得不到有效的保证^[4]。另外,随着工业现场环境和控制对象本身的日益庞杂,数控系统已从简单的运动轨迹控制器转变成贯穿数字化制造全过程的系统级平台。数控设

备在实现高速、高精、高效的加工自动化的过程中,对加工过程实时可控的要求越来越高,因此状态监测也成为数控研究的一个重要方向。

与此同时,以PROFIBUS为代表的现场总线技术已经进入相对成熟的阶段。现场总线能够与上层的企业内部网(Intranet)和英特网(Internet)相连,为实现自动化企业一直追求的基于控制-监控-管理一体化的综合自动化提供解决方案。随着数控系统模块化的趋势,数控系统的很多功能单元已经拥有了单独的控制器和运算器,具有了独立的数据指令处理体系,迫切需要以一种全新的优化方式和拓扑结构融入到数控系统的功能框架中。而现场总线应用的基础就是具备独立智能控制能力和通讯能力的

收稿日期:2007-10-19

* 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(项目编号:2007AA042005)和天津市科技发展计划(项目编号:06YFGZGX18200)

徐 跃 天津大学机械工程学院 博士生,300072 天津市

王太勇 天津大学机械工程学院 教授 博士生导师

赵艳菊 天津大学机械工程学院 博士生

董靖川 天津大学机械工程学院 博士生

节点现场设备。可以说,将 PROFIBUS 为代表的总线技术应用到分布式数控系统的设计中,以实现数控系统的开放性和状态监测是合适的,并且符合未来技术发展趋势。因此,本文以总线技术为基础,结合网络和数据库技术设计一种开放式可监测的数控系统。

1 数控系统框架

系统分为上、下 2 层网络,分别为底层设备互联网络和远程故障监测诊断网络。下层的设备互联网

路由 PROFIBUS 总线和 SERCOS 总线将各组成单元有机地联系起来。以基于 PC 架构的控制器为核心,实现数控加工的正常控制和现场信号的采集、监测与上传。上层监控网络结合 Internet 技术和数据库技术,采用 3 层 C/S 构架的信息交互模式。以数据库为核心,将底层网络上传的数据存储在数据库服务器中,实现全系统的数据共享。上、下网络之间的数据通讯通过安装在控制器上的监控工作站实现。其结构如图 1 所示。

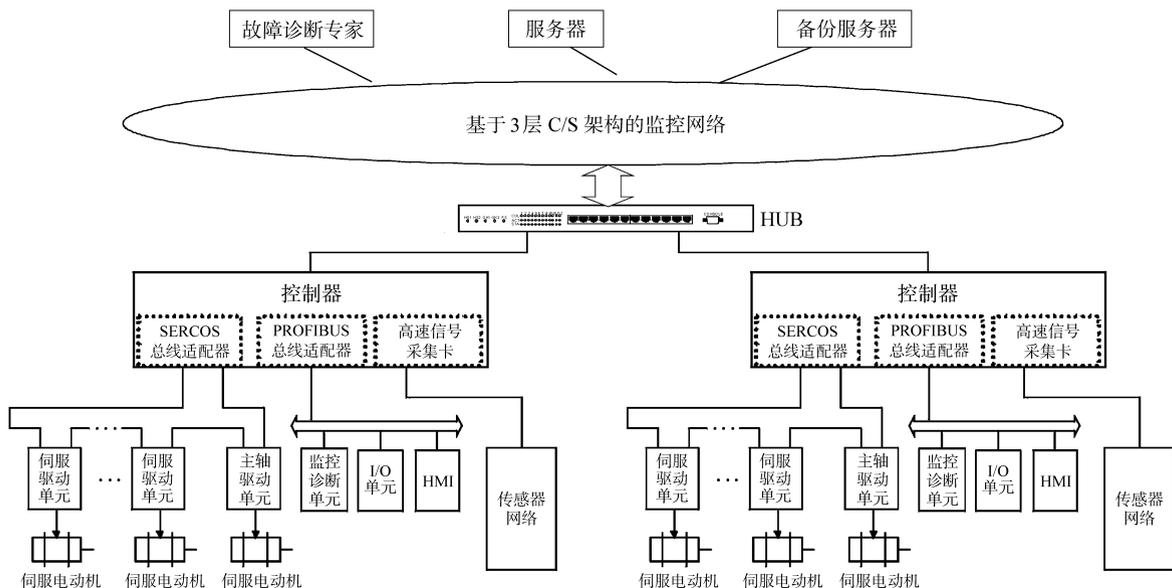


图 1 系统框架

Fig. 1 Scheme of system

2 底层设备互联网络的软硬件体系架构

2.1 基于总线技术的底层设备互联网络的硬件平台

底层网络是由控制器、伺服驱动单元、主轴单元、I/O 逻辑控制单元、HMI 单元、总线接口卡等以总线方式连接的网络,使用 SERCOS 和 Profibus-DP 2 种总线^[5]。SERCOS 总线采用光纤传输,数据传输速率高,适合于多轴联动控制。Profibus-DP 总线是一种高速连接总线,专为自动控制系统与设备级分散 I/O 之间的通信而设计,适合于分布式控制系统的高速数据传输。基于此,本系统中伺服驱动单元和主轴单元采用 SERCOS 总线连接。I/O 单元、HMI 单元通过 Profibus-DP 总线与数控系统连接。其结构框图如图 2 所示。

由图 2 可见,相对于传统的集中式数控系统结构,控制器的地位发生了变化,由原来的核心模块变成了总线中的一个节点。尽管控制器仍然可以被设置为总线中的主设备并作为整个系统的控制主体,负责系统任务的发起和控制数据的生成。通讯方式

的改变使其在拓扑结构上与其他外围设备节点处于同等地位。

图 2 中各模块功能如下:

(1) 控制器。它是整个总线系统的主设备,负责数控加工任务的规划、指令与数据的生成、计算和输出,网络系统的初始化、任务的发起、状态查询、数据下载等工作。本文的控制器基于 PC 架构,通过总线接口卡与总线连接。实际中使用的是 Profibus-DP 主站接口卡和 SERCOS 通信板卡。Profibus-DP 主站接口卡是一块智能 DP 协议卡,完成 PROFIBUS 协议的链路层和物理层功能。该接口卡是从站和主站的连接桥梁,通过其内部数字信号处理器(DSP)芯片实现 Profibus-DP 的协议,能准确、及时地实现主、从站的数据交互。SERCOS 通信板卡由 ISA 接口电路、译码电路、SERCOS 处理器和光纤编码接口组成,实现 SERCOS 主卡和从卡的通信。

(2) HMI 单元。该单元可完成数控加工数据的输入,同时还可处理与用户操作和监控有关的系

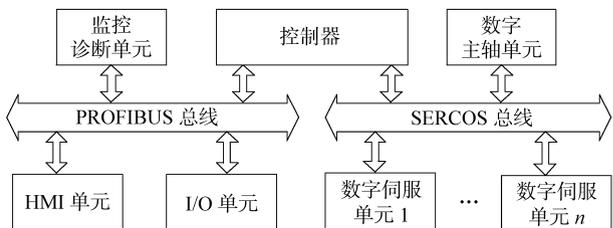


图2 底层网络结构框图

Fig.2 Architecture of bottom network

统功能,具备显示、键盘处理、用户数据传输等功能。

(3) I/O 智能模块单元。该单元是数控系统和现场设备中各种离散量的接口。该单元具有专门的处理器,具备智能数据处理和数据通讯能力,可独立接收、执行总线上的命令。

(4) 数字伺服驱动器单元。这是数控系统操控电动机运动的功率单元,是运动控制性能的关键部分。驱动器是系统的运动控制执行器,是与电动机等执行装置和机械设备的接口,负责将控制器的任务和数据转变成运动控制输出,实现弱信号对强电流的控制。

(5) 监控诊断单元。它是数控系统状态监测、故障处理的独立模块。该模块与传感装置直接连接,可实时采集设备关键部位的工作数据,并能进行预处理和应急处理,能够在必要时与控制器建立信息交互。

底层设备互连网络中的模块设备通过总线联系在一起,各模块不论挂接在哪个总线上,都遵循各自的总线通讯协议,按规定的格式交换信息,共同协调完成控制任务。这样的设计使得系统的结构不仅在硬件上统一,而且在软件接口上也有统一的形式。

2.2 控制器软件结构图

控制器的软件分为基础软件平台、应用平台、应用程序3个层次,如图3所示。

基础软件平台由 Venturcom 公司的 RTX(real-time extension) 和微软公司的 Windows 2000 操作系统组成^[6]。Windows 2000 操作系统可提供良好的图形用户界面、丰富实用的 Win32 API 函数、高效易用的开发工具、大量可用的第三方设备驱动程序。RTX 为 Windows 2000 系统作了实时扩展,解决了 Windows 2000 系统在支持可预测线程同步、优先级可继承、中断延迟和线程切换的可预见性等方面的不足。数控系统实时性要求最高的插补运算和软 PLC 等任务运行在 RTX 环境中。实际应用时,RTX 为应用软件提供了与 Win32.dll 功能类似的动态加载和卸载的 RT.dll,该动态连接库可帮助实现应用程序对底层硬件的调用。

应用平台由 API 构成。该层除含有离散点 I/O

设备 API、采集设备 API、位置控制 API、总线接口 API 等接口外,还包含用户根据系统软件平台提供的 API 自定义功能组件以及总线协议转换 API^[7]。

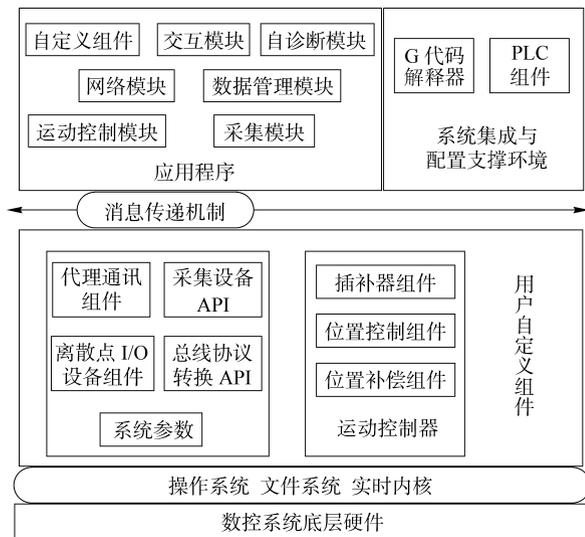


图3 基于组件技术的数控系统软件体系结构

Fig.3 Software architecture of embedded CNC system based on component

应用程序由若干依据数控系统功能划分出的软件模块构成。软件模块的开发采用组件技术。每个组件可单独开发,单独编译,甚至单独调试和测试。当所有组件开发完毕后,用户可以在开发环境下把组件无缝集成形成数控系统。当用户需求发生变化或系统的软硬件环境改变时,只需对受影响的组件进行修改、重组就能得到新的数控系统。

图4为应用程序层中运动控制单元配置过程。

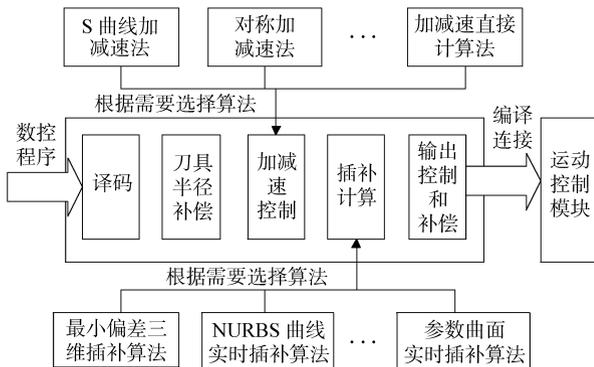


图4 运动控制模块配置过程

Fig.4 Configuration of task module of motion control

3 基于设备故障诊断网的上层网络

3.1 上层网络的结构设计

如图5所示,系统采用分层结构,即现场监控层(Infranet)、局域网监控诊断层(Intranet)和远程监控诊断(Internet)的3级C/S结构。

各层具体分工为:

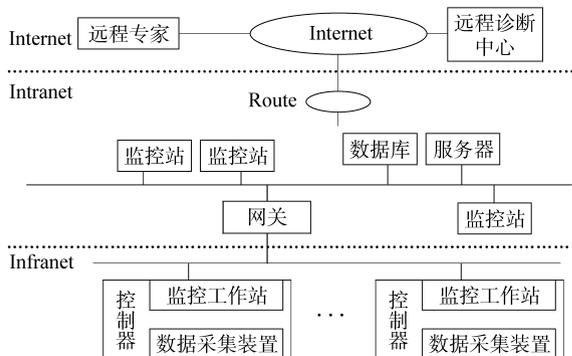


图 5 上层网络结构图

Fig. 5 Configuration of super network

(1) 现场监控层:了解和掌握机床的运行状态,按照用户设定的监控策略有选择地对机床的主轴驱动功率、扭矩、电压、电流和主要工作部位的动态信号进行多参数在线监测和分析。结合历史数据对设备运行状态进行评估,并进行显示和记录。当机床有轻微异常时发出报警提示,以便运行人员及时进行处理;当处于严重异常状态或异常状态达到一定时间而操作人员仍然未加以处理时,自动实行保护措施。对于复杂的以及需要作进一步处理的监测状况,则把信息和数据传送给上层网络,由上层功能强大的计算机进行处理。安装在本地控制器上的监控工作站实现现场监控层和上层网络的连接。监控工作站实际上是一套安装在本地数控系统上的客户端数据传输软件。该软件可按照用户要求采集机床指定位置上的传感器信号,按照设定好的阈值参数,将待诊断数据和其之前、之后的 $2N$ 个数据送入上层的监控诊断网和远程监控网。

(2) 监控诊断管理层:负责整个系统的监控和管理。层中的每一个节点即为在线监测与故障诊断网络系统的一个客户。这些客户单元直接被厂长、总工程师等人员以及总调度室等部门使用。监控管理层可以与数据库、现场监控层进行双向联系。可根据客户需求进行相应组态设置。数据库服务器设在本层,它的任务是根据具体情况建立实时数据库,分配存储空间,保存采集到的数据。根据用户的设置,有选择地把实时数据库中的数据存入历史数据库中,以供进一步的分析与诊断。数据库层还可对数据库进行定期处理与维护,如删除无用信息,定期备份等。还可生成时报、班报、日报、周报、月报、年报等运行报表。

(3) 远程诊断层:通过 Internet 与监控诊断层连接。远程专家通过输入账号与密码登录数据库服务器,读取各种数据,运行客户端诊断软件进行故障的分析与诊断。最后将诊断结果返回客户端。

3.2 软件实现

3.2.1 服务器端软件实现

数据库服务器运行的控制软件是上层网的控制中心,它提供监测、管理在线用户的功能。软件采用 Socket 技术,侦听各个客户端的连接消息,向通过身份验证的客户发送验证消息使其连上服务器,运行相应的客户端软件。需要特别指出的是,如果服务器控制软件没有运行,分布在客户端的诊断软件将不能运行。

3.2.2 客户端软件实现

分布在监控诊断管理层中的各级节点单元以及远程的专家利用客户端服务软件,通过输入相应权限的用户名和密码登录系统后,即可连上位于监控诊断层的数据库服务器获得相应的数据文件,运行信号分析诊断软件进行分析。数据库服务器提供:时域(自相关、互相关等)、幅值域(参数计算、直方图等)、频域(相干、包络谱、细化谱、传函等)、时频分析(STFT、小波分析、小波包分析等)、声学分析、模态分析、线性回归预测、BP 神经网络预测、灰色预测等在线分析与故障诊断方法。

3.2.3 服务器数据库实现

服务器数据库包含监测数据库、原始数据库、报表库、故障库等,其中监测数据库中包括厂级数据库、车间级数据库、设备级数据库、零件数据库,这些数据库包含了监测设备所有的信息,为监测层中不同级别的客户提供数据支持。

如图 6 所示,数据库采用 SQL2000,应用程序用 VC++ 编写,直接调用 ODBC API 函数,实现对数据库的访问。同时采用了安全性高、交互性强的 3 层 C/S 结构的数据管理模式。系统不仅增加了防火墙,还对数据库进行了加密设置,外部程序访问数据库时需先通过密码校验。此外系统还增加了专门的管理机构,负责制定、审查、确定安全措施,设置用户级别,设置用户密码保存密钥、审阅审计记录等。

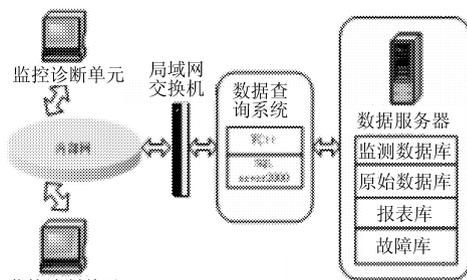


图 6 系统数据库与网络连接图

Fig. 6 Connection between system database and network

本文设计的方案已成功应用于 TDNC40A 四轴加工中心,如图 7 所示。试验证明系统工作稳定可靠。

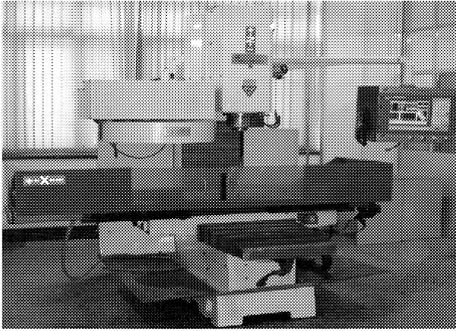


图7 TDNC40A 四轴加工中心

Fig. 7 Four-axis machining center TDNC40A

4 结束语

本文监控数据系统,基于PC的控制器,既充分地利用了微软操作系统的强大功能又通过引入RTX系统改善了桌面操作系统实时性不强的不足。组件技术的应用,使各种开发工具开发的组件和应用程序以及组件与组件之间可以进行互操作,能方便地建立可伸缩的应用系统。现场总线的应用实现了数控系统底层单元的灵活配置。另外,本文将故障监测和诊断技术与数控相结合,构建了层次化的可监控体系,开发了原型机,在数控系统网络化研究方面进行了一定的探索。

参 考 文 献

- 1 王文,秦兴,陈子辰. 基于可编程逻辑器件的可重构数控系统研究[J]. 计算机集成制造系统,2002,8(7):565~569.
Wang Wen, Qin Xing, Chen Zichen. Research on reconfigurable CNC system based on programmable logical device[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2002,8(7):565~569. (in Chinese)
- 2 王林军. 基于STEP和XML的网络数据库的建立[J]. 农业机械学报,2006,37(7):150~153.
Wang Linjun. Building web database based on STEP and XML[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(7):150~153. (in Chinese)
- 3 王太勇,王涛,杨洁,等. 基于嵌入式技术的数控系统开发设计[J]. 天津大学学报,2006,39(12):1508~1515.
Wang Taiyong, Wang Tao, Yang Jie, et al. Design of CNC system based on embedded technology[J]. Journal of Tianjin University, 2006,39(12):1508~1515. (in Chinese)
- 4 王太勇,李宏伟,汪文津,等. 开放式数控系统分布式智能协作体系的研究[J]. 天津大学学报,2004,37(8):673~677.
Wang Taiyong, Li Hongwei, Wang Wenjin, et al. Framework of distributive and intelligent cooperation based on open architecture CNC[J]. Journal of Tianjin University, 2004,37(8):673~677. (in Chinese)
- 5 谢经明,周祖德,陈幼平. 基于现场总线的开放式数控系统体系结构研究[J]. 华中科技大学学报:自然科学版,2002,30(4):1~3.
Xie Jingming, Zhou Zude, Chen Youping, et al. Research on the architecture of field bus-based open CNC system[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Nature Science, 2002,30(4):1~3. (in Chinese)
- 6 王俊席,杨林,祝轲卿,等. 基于实时操作系统的发动机控制软件开发平台设计[J]. 农业机械学报,2006,37(9):36~39.
Wang Junxi, Yang Lin, Zhu Keqing, et al. Design of control software development platform for electrically controlled engine based on real-time operating system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(9):36~39. (in Chinese)
- 7 殷磊,王润孝,高利辉,等. 基于组件技术构建分布式数控故障诊断系统[J]. 计算机工程与应用,2003,3(3):53~55.
Yin Lei, Wang Runxiao, Gao Lihui, et al. Construct of NC distributed fault diagnosis based on groupware technique[J]. Computer Engineering and Applications, 2003,3(3):53~55. (in Chinese)

(上接第186页)

- 7 Albert Boggess, Francis J Narcowich. 小波与傅里叶分析基础[M]. 芮国胜,康健,译. 北京:电子工业出版社,2004:105~132.
- 8 杨建国. 小波及其工程应用[M]. 北京:机械工业出版社,2005:3~72.
- 9 Yang Jianguo. An anti-aliasing algorithm for discrete wavelet transform[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2003,17(5):945~954.