

开放式智能数控机床的研究进展*

Research Progress of Open Type Intelligent NC Machine Tool

哈尔滨工业大学机电工程学院 韩振宇 李茂月 富宏亚
齐重数控装备股份有限公司 姜春雨



韩振宇

博士, 哈尔滨工业大学机电工程学院副教授。主要从事开放式数控系统、智能加工技术等方面的研究, 主编《智能加工技术与系统》教材一部, 发表学术论文 20 余篇。

随着现代科学技术的不断发展, 数控技术已日趋完善, 但也面临着许多新的挑战。一方面, 传统数控系统的封闭式结构已经不能满足未来生产“面向任务和订单”生产模式的要求: 生产模式的转变要求降低机床

生产过程中不断出现的新加工需求, 要求数控系统具有迅速、高效、经济地面向用户定制的能力。这使得 CNC 控制器必须具有可重构、可扩展、可移植和可伸缩等特性, 并允许用户在集成传感器和加工监控系统的基础上方便地实现“智能控制”。

制造商对数控系统生产商的依赖性, 要求数控系统(CNC)满足“可重构制造系统”的需求。另外, 生产过程中不断出现的新加工需求, 要求数控系统具有迅速、高效、经济地面向用户定制的能力。这使得 CNC 控制器必须具有可重构、可扩展、可移植和可伸缩等特性, 并允许用户在集成传感器和加工监控系统的基础上方便地实现“智能控制”。要达到这一目的, 最有效的途径就是实现数控系统的开放性, 使数控系统由封闭式控制模式向开放式控制模式发展, 这也是当前数控技术发展的必然趋势。21 世纪, 数控机床将在现有技术的基础上, 由机械运动的自动化向信息控制的智能化方向发展。

开放式数控系统体系简介

开放式控制系统的研究从 20 世

纪 80 年代末开始, 到现在还没有形成统一的标准。有关开放式控制系统的定义有很多, IEEE 对开放式系统做出了如下定义:“能够在不同厂商的多种平台上运行, 可以和其他系统的应用程序互操作, 并且能够给用户提供一个一致性的人机交互方式。”

20 世纪 90 年代以来, 具有开放结构的机床运动控制器迅速发展起来。开放式的运动控制器经历了人机接口开放、部分内核开放、体系结构完全开放等 3 个发展阶段^[1-3]。控制系统实现方式从最初的 PC+NC 逐渐发展为 PC+CNC 扩展卡, 现在成为 PC+SoftCNC 形式。

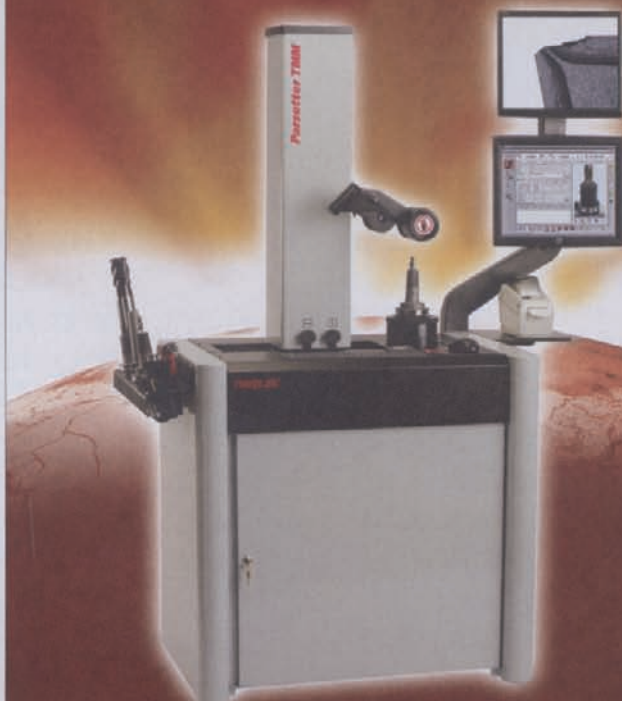
运动控制器是数控系统的核心组成部分, 国内外研究机构及学者对开放式运动控制器进行了深入研究。

1 国外开放式运动控制器的研究现状

* 国家科技重大专项(2009ZX04002-051)基金项目。

P1800-PGC系列 刀具预调仪

新一代P1800-PGC刀具预调仪秉承了其经典机型P1500系列的所有优点，将更好的人体工程学设计和卓越的内在品质完美结合，创造了理想的刀具测量和检测解决方案，同时它在先进的刀具测量基础之上全面拓展了刀具管理系统，可与MAZAK等其他机床进行网络数据通讯，实现刀具数据的智能化管理，降低您的刀具库存及采购成本，提高质量的同时获得更高的收益！



核心优势：

- ParleVison PSC刀具测量与检测系统
- ParleVison PGC刀具管理与通讯系统
- 高分辨率的数码成像系统，40倍光学放大
- 动态十字线自动跟踪，系统自动识别刃形
- 双轴微调系统，可靠的微米级重复测量精度
- 全中文操作系统，图形化功能按键，测量简单快捷
- 17寸液晶触摸屏，便携式软键盘和鼠标
- 拥有多种格式的标签打印机

帕莱克机械（南京）有限公司

USA · Europe · 中国 · 南京 · 上海 · 广州 · 天津 · 成都

电话：025-87113188 传真：025-87113180



Made
in U.S.A.

Email: sales@parlec.com.cn

www.parlec.com.cn



广告索引号10-089

自1992年以来，欧盟、美国、日本等制造业发达国家相继开展了大规模的开放式数控系统研究项目。1994年，美国的克莱斯勒、福特和通用三大汽车公司发起了称为“OMAC计划”的开放式运动控制器研究项目，其主要目标是建立一个源于用户、软件开发商、硬件制造商和OEM厂商的关于开放结构控制器需求以及实践经验的知识库；与欧洲和日本的用户组协作以实现一个通用的API国际标准；为开放式数控系统在开发、实现和商品化过程中的所有的技术和非技术问题找到一个通用的解决方案。OMAC没有定义一个固定的参考结构，但是定义了用于建造不同类型控制器的模块集^[4-6]。OMAC API的目标是为控制系统销售商提供标准组件，机床供应商把这些组件配置到机床控制系统中，然后把这种控制系统和机床交付给最终用户。

欧洲发起了称为“OSACA工程”的开放式运动控制器研究项目，目的是建立一个开放的、与厂商无关的控制器体系结构，以提高欧洲机床行业的竞争力。OSACA的想法是开发一组控制程序API和一个适当的底层结构，以实现应用程序的可移植性、可扩展性、可替换性、可缩放性和互操作性^[7-8]。

1994年12月，日本3个机床制造商、2个信息系统公司和1个控制器制造商联合发起了OSEC项目。OSEC的目的是为其国内的开放系统作一个定义^[9]。OSEC的突出特征之一是模块化的软件结构，结构中每一个功能任务本身都是一个应用程序。

比较表明，OMAC在技术上更优秀一些，另外，OMAC是由美国三大汽车公司联合发起的，且得到了FANUC、SIEMENS、Allen-Bradley等著名数控系统生产厂商的支持。因此，无论是从技术还是从市场的角度看，开放式数控系统的国际标准都最有可能在OMAC的基础上形成。另外，美国的密歇根大学、加拿大不列颠哥伦比亚大学、普渡大学、加利福尼亚大学伯克利分校、斯图加特大学、亚琛大学等学校也都在开放式运动控制器方面进行了大量的研究^[10-15]。

2 国内开放式运动控制器的研究现状

我国在“八五”和“九五”期间，国家重点投资北京机电数控集团、航天数控集团和华中数控集团，开发了以PC机为基础的中华I型、航天I型、华中I型和蓝天I型等4种基本系统。这些系统尽管基本建立在PC平台上，但它们的系统结构仍是封闭的。

华中理工大学周祖德教授等提出了一种基于软件芯片的开放式运动控制器的实现模式^[16-17]。在数控机床运动控制器功能及实现机制研究的基础上，运用面向对象的机制，将数控软件设计成一系列可以重用的软件芯片，每一个软件芯片完成数控系统的一个独立功能。

北京航空航天大学的陈五一教授等提出了基于RT-Linux的开放式数控系统的概念。实现了基于组件的开放结构数控系统原型系统^[18-19]。该系统以任务模块作为系统功能单元，

以虚拟模块实现数控系统功能单元间的信息交换与同步,以配置模块实现系统的集成。

浙江大学王文、陈子辰教授提出了基于 COM 技术的开放式数控系统实现方法^[20-21]。把机床运动控制器按功能分成若干模块,采用 COM 标准开发各模块的具体功能,各模块在协同工作时,通过相互之间的标准接口完成实际的任务。

智能机床

智能机床就是在制造过程中能够根据加工环境做出正确决策的机床,它能够监控、诊断和调整生产过程中出现的各类偏差,并且能为生产的最优化提供方案。此外,它还能预测出所使用的切削刀具、主轴等的剩余寿命,让用户清楚其替换时间。

1 智能机床特点

总的来说,智能机床具有下述的优点:降低加工时间,提高加工效率;提高工件加工精度;判断加工工艺的合理性,提高工艺安全性及自动运行时的可靠性;降低机床负荷,延长机床使用寿命;减少工人劳动强度;根据加工环境实时优化加工参数,提高加工经济性。

2 智能机床产品^[22]

2006年,日本 Mazak 公司以“智能机床”的名称,展出了声称具有四大智能特征的数控机床:(1)主动振动控制——将振动减至最小;(2)智能安全屏障——防止部件碰撞;(3)智能热屏障——热位移控制;(4)马扎克语音提示——语音信息系统。

瑞士米克朗公司的系列化模块(软件和硬件)是该公司在智能机床领域的成果。例如,米克朗的高级工艺控制系统(APS)是“智能机床”的一个模块,它是一套监视系统,使用户能观察和控制铣削加工过程。借助这个高度智能化的系统,用户能在铣削过程中直接观察到切削力情况,因此能更好地控制加工过程和优化

加工工艺。

但总的来说,上述智能机床产品的体系结构、体系标准、实用程度等关键技术到底如何,公司并未提供详细的说明和资料。

实现开放式智能机床的关键技术

要在现有的符合国际标准体系的开放式数控系统上实现机床的智能加工,还有许多核心技术需要解决。

1 高速实时数据采集及融合技术

在实际加工过程中,由于插补周期一般为几毫秒,要保证智能控制与 CNC 加工的有效协调、提高控制的精度和效率,则应保证反馈信号的反馈周期也保持在几毫秒之内。但是在现有的 Windows 平台下,若要达到这么高的定时精度,很难通过多线程编程来满足高档数控系统的实时性。虽然基于 Win32 下的定时器的最小计时单位理论上可以达到 1ms,但实际加工中使用该定时器存在其执行的任务容易被高优先级任务抢占、界面线程容易死机等问题,因此需要采用基于实时的高速数据采集技术。

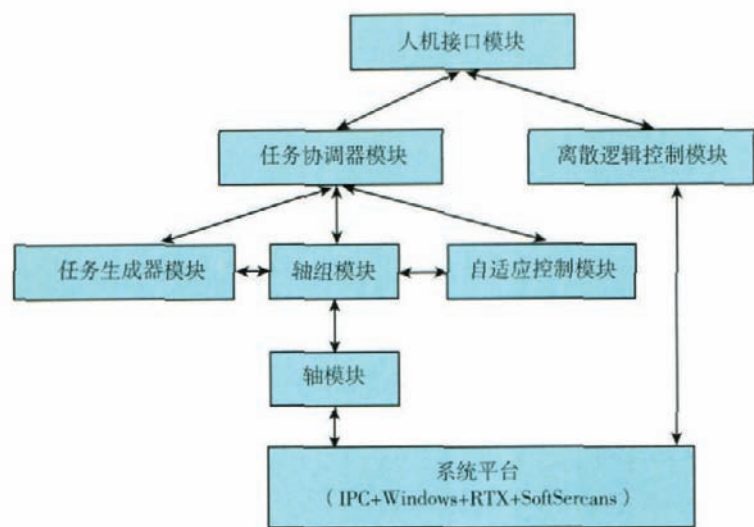
许多软件开发商开发了针对 Windows 的实时扩展系统,诸

如美国 VenturCom 公司的 RTX、TenAsys 公司的 Intime、Nematron 公司的 HyperKernel。它们都在保全 Windows 原有功能的基础上,提供优异的实时性能。经过 OMAC 工作组严格地实时测试表明,这类产品的实时性能完全满足数控系统的要求^[23]。

国内外应用广泛的 RTX (Real-Time Extension) 是美国 VenturCom 公司开发的对 Windows 系统的实时扩展子系统。由硬件抽象层(HAL)扩展、实时子系统(RTSS)及实时开发工具库组成。基于 RTX 的定时信号采集将其最小周期降到了 100ns,并且提供了同步时钟。另外,RTX 还具有确保高优先级的任务首先执行并且不被低优先级程序中断、对所有的任务直接控制、可以保证任意线程的最差响应时间为 50μs 等优点。

要实现实时的智能加工,必须开发基于实时子系统的的海量数据采集驱动程序(如 RTX 环境),同时设计好多路信号间的信息提取、信息融合等控制算法和控制结构,这样才可以实现高速、高精数控加工的数据采集。另外,在传感器等硬件技术方面,也需要研制出体积小、精度高、抗扰动强的高精度传感器。

2 开放式智能模块体系的构建



自适应智能控制器的结构

Alberti角度头



- 模块化设计
- 大功率，大扭矩
- 高强度，高刚性，高精度

意大利Alberti公司是全球著名的各种用途、各种角度头的专业制造商，是全球该领域技术和市场方面的领先者。美国Parlec公司负责其产品在北美及亚太地区的销售，Parlec和Alberti将分享技术信息，共享技术支持和服务团队，为全球客户提供更加快捷和优质的服务。

美国帕莱克公司是刀具及刀具预调仪设计与制造的世界领先者，随着国内公司规模及业务的不断扩大，特诚邀销售工程师的加盟，共创未来。

职位要求：

- ▶ 机械相关专业本科以上学历
 - ▶ 具有丰富的机械行业经验
 - ▶ 具有良好的沟通交流能力
 - ▶ 工作地点：天津，南京，长春，沈阳
- 如有意者请将简历发至：hr.parlec@163.com

帕莱克机械（南京）有限公司

USA · Europe · 中国 · 南京 · 上海 · 广州 · 天津 · 成都 · 西安

电话：025-87113188 传真：025-87113180



Email: sales@parlec.com.cn
www.parlec.com.cn



在开放式数控系统中,实现智能加工技术,核心的问题是如何组织好译码、插补、位置控制、智能控制等任务间的协调关系。哈尔滨工业大学结合多年的研究成果,参考美国 OMAC 协议标准,设计并开发了一个模块化的、能实现自适应进给速度调整的开放式智能控制器。

该控制器从系统体系结构的高度,将智能控制策略融合于开放式数控系统的结构中,使智能控制策略成为系统的基本控制决策方法。人机接口模块负责操作者与控制器之间的交互,主要完成系统运行前系统参数的设定以及加工开始时机床工作命令的操作;任务协调器模块主要进行任务分配,负责系统内各模块的协调与实时调度;离散逻辑控制模块负责对外部输入和内部状态变量进行布尔运算,得到相应输出和内部状态变量,并对外部输入输出设备进行控制;任务生成器模块解析零件加工 NC 程序文件,提取加工程序中的各种信息,生成包含运动信息的运动段指令和逻辑控制指令;轴组模块完成插补任务和加减速功能,对译码得到的运动指令按照进给速度的要求进行细分,得到单个插补周期内的进给量,并输出给各个轴模块;自适应控制模块完成外部约束目标(如切削力、热量)的实现,通过调用人工智能算法等控制策略优化加工参数,并传送到轴组模块;轴模块单元接收来自轴组模块的指令,完成位置控制或速度控制等功能,并将控制信息发送给外部执行单元。

3 CNC 的数据转换流程实现

为了实现实时控制任务功能,线程之间需要进行数据传递和同步。在智能控制器中,采集的参数除了实时进行人机交互外,更重要的是,在加工过程中要不断地将采集到的参数通过相关技术实现自适应控制,并且要实现与插补过程的融合和同步。总的来说,系统的软件被划分成 2 个进程: Win32 进程和 RTSS 进程。Win32 进程完成操作界面、状态显示等非实时任务; RTSS 进程完成运动加减速、插补、位置控制、自适应控制等实时任务。2 个进程间通过共享内存实现必要的数据传输,并通过事件和信号量实现进程间通信的同步。

要实现复杂的智能控制流程和插补加工流程,有限状态机 (FSM) 技术极为重要。FSM 由有限的状态和相互之间的转移构成,在任何时候只能处于给定数目状态中的一个。当接收到一个输入事件时,状态机产生一个输出,同时也可能伴随着状态的转移。数控系统根据输入的信息(如数控程序、操作面板的输入、传感器反馈信息)控制机床移动,实现加工操作(如轴运动、换刀、停止机床等)。因此,将外部输入的信息表示为 FSM 的输入事件,将机床的加工操作表示为 FSM 的动作,采用 FSM 作为机床的行为模型,通过有限状态机模型,可以很容易地实现外部参量与机床内部参数的有效协调。

我国开放式智能机床的研究现状

目前,国内对加工过程的智能控制理论方面已经开展了

大量的研究。例如,唐唤清^[24-25]对目前在智能自动加工中的研究现状、应用传感器技术以实现刀具状



态在线监控的各种方法进行了较全面的阐述。杨占玺^[26]认为,机床智能化离不开传感器,应用于机床操作过程的传感器可以分为3类:

(1)应用于运动控制过程的传感器,例如位置传感器、速度传感器、角速度传感器等;(2)适用于控制系统中,用于加工过程控制的传感器,例如力传感器、功率传感器等;(3)应用于加工过程监控和诊断的传感器,例如振动传感器、温度传感器等。许多学者根据采用的传感器、控制方法及控制目标的不同,对加工过程监控进行了研究。目前,主要包括下述几方面的研究:(1)通过对刀具磨损的研究来监控加工状态;(2)通过采用直接或间接测力等方法研究加工过程状态;(3)离线加工参数优化研究,主要集中于CAM技术研究;(4)通过仿真的方式进行智能加工控制算法的研究。

目前,国内一些高校也陆续对开放式数控展开了研究,如华中科技大学、天津大学、北京工业大学、南华

大学、沈阳工业大学等^[27-32]。然而,在开放式数控的基础上如何进行集成式智能机床的研究还未有实质性进展。

总之,目前国内外在开放式智能控制切削加工方法方面取得了一定的理论成果,但大多有关智能切削加工的研究都属于实验室仿真研究或某种条件下的某种材料加工,缺乏理论和实践研究的普遍性,更谈不上符合标准体系要求的应用型开放式智能加工机床的制造。

结束语

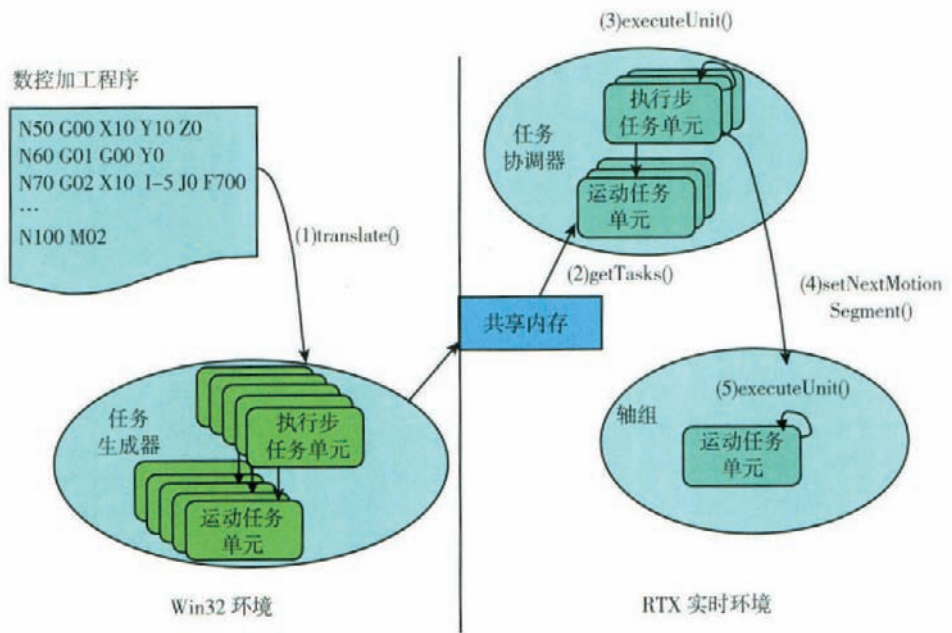
随着人工智能技术、开放式数控系统的发展,数控机床的智能化程度需要不断提高。具体体现在以下几个方面:

设备处于最佳运行状态,以提高加工效率,降低工件表面粗糙度值,提高设备运行的可靠性。

(2)加工参数的智能优化与选择。将人的经验、工件加工的规律,用人工智能方法,构造基于专家系统或基于模型的“智能控制器”,以获得优化的加工参数,从而达到提高加工工艺水平,缩短生产时间的目的。

(3)智能故障自诊断与自修复技术。根据已有的故障信息,应用人工智能方法实现故障的提前报警及快速准确定位,并实现故障状态下安全停机的功能。

在开放式智能机床的理论研究方面,我国的研究机构已取得了一定的成果。在开放式智能机床的集成和应用方面,中国的科技人员应直面



模块间的协作与数据传递举例

(1)加工过程自适应控制技术。通过监测加工过程中的切削力、主轴和进给电机的功率、电流、电压等信息,利用传统的或现代的算法进行识别,以辨识出刀具的受力、磨损、破损状态及机床加工的稳定性状态,并根据这些状态实时调整加工参数(主轴转速、进给速度)和加工指令,使

挑战,抓住有利时机,力争在这一有着巨大创新潜力和应用前景的领域迈出更大的步伐。

本文共有参考文献32篇,因篇幅所限,未能一一列出,读者如有需要请向本刊编辑部索取。

(责编 小颖)