

CIMS 智能本地接口和机器人操作器的控制器

李万兴 丁辅茂 黄荣璋 阎保岑 徐万儒 王伟中 刘继宁

(辽宁八达高校科技开发集团, 沈阳)

摘要 本文介绍一种先进智能柔性伺服控制系统。作者着重在通信接口、触碰检测、抓握控制、握力控制及摩擦测量等方面叙述该系统的硬件结构和软件流程。该系统的控制软件用高级实时控制程序语言 PL/M 编写, 由于采用模块化结构设计, 因而具有灵活性和易维护性。为了通用目的, 智能柔性控制系统作为联系纽带在 BITBUS 网络和本地设备间提供了一个通信链路, 以便完成实时分布式控制。为了实现同一个终端或一台计算机的本地通信协议, 该系统还支持一个 RS-232 串行异步通信链路, CIMS 智能本地接口部件(LIU)和操作器控制器具有低成本、多功能、多用途、灵活可靠等优点, 因此适用于各类工业过程自动化实时控制。

1 导言

AMRF(Automated Manufacturing Research Facility)自动制造研究中心是美国唯一的工程实验室。它隶属于美国国家标准局(NBS)制造工程中心。自动制造中心可以看作是一个综合系统, 它包括中央数控(CNC)机床、工业机器人及自动化原材料加工和输送系统。这些系统中每一个都是一个机械-电子系统, 通常它们的机械传动部分多采用伺服电机, 而电气控制部分则是一个基于微处理器的控制系统。

以往所说的自动化工厂通常是指一台大型中心计算机控制一组机器, 这种中心控制模式成本高, 灵活性差, 尤其是不适用于小批量、多品种生产方式的中小企业的工厂自动化。

在未来的自动化工厂中, 计算机可能分布在各类彼此有一定距离的建筑物里。这样的分布式系统需要一个快速、准确、可靠、不受机器的实际安放位置影响的信息传送方法。信息的传送不许中断接收计算机, 因为此时接收计算机也许正在做一些很重要的事情。

宽带计算机网络是 AMRF 网络通信的支撑环境。利用宽频带令牌总线、宽带或基带以太网以及 RS-232 基本通信协议可以满足 AMRF 网络通信的需要。目前, 主要工作是开发以 MAP(Manufacturing Automated Protocol 自动制造协议)和 TOP(Technical and Office Protocol 技术和管理协议)为基础的 AMRF 网络。同时, Field Bus(地域总线)网络被选定作为实时分布式控制系统(DCS)。

对于 AMRF, 智能柔性伺服系统在实时分布控制系统中起着非常重要的作用。本文给出这样一个智能本地接口部件作为柔性伺服控制器。作者之所以建议使用这个用软件综合的柔性伺服控制器, 其目的在于减少硬件的数目, 并且消除对模拟信号的处理。LIU 系统提供了一个软件接口, 利用该接口能够接收来自于管理控制系统的管理数据, 这些数据包括动作、距离、速度、位置及控制参数等。从用户的观点看来, 这个柔性伺服控制器是透明的。用户通过改变控制参数能够设计所希望的控制特性, 同样, 通过该接口还能够送出动作指令而不用考虑当前控制的电机类型。用户能够很容易地开发非常完善、先进的控制器。

柔性伺服控制器的优点是:

- ①紧凑的硬件所具有的高度可靠性;
- ②高度灵活性;
- ③容易调整并且获得所希望的控制特性;
- ④系统对于终端用户具有透明性。

2 系统结构

为了使系统性能可靠、造价低、硬件配置最优化, 即在不失去系统的灵活性和通用性的前提下将硬件器件数目减至最少, 应用微处理器控制闭环运动系统似乎是个好主意, 然而软件开发工作非常艰巨, 即使是能力最强的设计者也对此感到伤脑筋, 因为软件不仅要控制电机的速度和位置, 而且还必须保证指令和结果在主系统和电机控制器之间顺利传递。不仅如此, 主机还必须涉

及实时控制和调整电机的运动。基于这种观点,采用一个通用的运动控制集成电路(HCTL-1000)控制三相直流无刷电机,此电机内部有霍尔效应传感器,这些传感器构成一个轴角编码器。这些用于电机内交直流变换的霍尔效应器件还被用作位置传感器,因而不需要外部位置传感器。

为了管理集成电路 HCTL-1000 和 BITBUS(位总线)网络接口,这项研究使用一片 Intel8751 单片计算机作主处理器。8751 是一个独立的高性能的单片计算机,它十分适合于仪器仪表、工业控制和计算机智能外部设备等实时控制方面的应用。8751 单片计算机芯片内包含:一个 4K 用户可擦除可编程的 EPROM;一个不具有掉电保护功能的 128×8 读/写数据存储器;32 个 I/O 线;两个 16 位定时器/计数器;使用单一 5 伏电源;两个优先级嵌套中断结构;一个用于多处理器通信 I/O 扩展或全双工 UART(通用异步接收机/发送机)的串行 I/O 口以及片内振荡器和时钟电路。

HCTL-1000 是一个能为直流电机、直流无刷电机和步进电机提供位置和速度控制的通用电机控制器。HCTL-1000 接收来自于主处理器 8751 的输入指令,并接收带有正交输出的增量编码器的位置反馈信号。一个 8 位的双向多路交换地址/数据总线将 HCTL-1000 连接到主处理器上。这个编码反馈信号解译成正交计数码,由一个 24 位计数器保持位置的跟踪。HCTL-1000 执行由用户选择的四个控制算法中的任意一个。这四种控制方式是:

①位置控制;②比例速度控制;③点对点运动的梯形曲线控制;④使用线性加速度的连续速度曲线的积分速度控制。

驻留的位置曲线发生器计算梯形曲线控制和积分速度控制所必需的曲线。HCTL-1000 将实际的位置(或速度)与期望的位置(或速度)进行比较,然后使用一可编程的数字滤波器 $D(z)$,计算并产生应补偿的电机指令。该电机指令在电机指令器上为一个 8 位字节输入,在 PWM 口上为脉宽调制信号。HCTL-1000 具有为直流无刷电机和步进电机提供电子换向的能力。HCTL-1000 操作受一组 64 个 8 位寄存器控制(寄存器地址为 00H 到 3FH),其中 32 个为用户可存取的,这些寄存器包括正确驱动控制器芯片所必需的指令和配置信息。

对于 HCTL-1000,所有的控制方式均使用可编程数字滤波器 $D(z)$ 的某些部分,以补偿闭环系统的稳定性。补偿函数 $D(z)$ 具有下列形式:

$$D(z) = \frac{K(z - A / 256)}{4(z + B / 256)}$$

其中 z 为数字域算符; A 为零点(寄存器地址为 R20H); B 为极点(寄存器地址为 R21H); K 为增益(寄存器地址为 R22H)。

补偿函数是一阶超前滤波器。此滤波器和采样时间 T (寄存器地址 ROFH)一起影响控制系统的动态阶跃响应和稳定性。采样周期 T 决定控制算法得到执行的速率, A 、 B 、 K 和 T 所有这些参数均为能由用户随时改变的 8 位标量。

控制三相直流无刷电机的放大器采用电流环设计;因此,通过规定脉宽调制(PWM)输出占空比(脉冲持续时间与间歇时间比)从 0%~100%来获得握力控制。利用电源反馈环通过数字计算方法补偿握力。电机电流信息馈送给 A/D 转换器并且和期望的指令值相比较以便产生控制 HCTL-1000 PWM 口的输出信号,因此,握力锁在给定值上。这种握力的传感方法不影响可变的手指,其分辨率为最大握力的 1%。为了在操作器的寿命期限内保持一个已知的握力,要定期测定摩擦特性,增加这个特性是用来补偿机械系统中的磨损(使用测量摩擦方法来实现)。借助测量摩擦的方法,用户能够在操作器整个寿命期间获得一个不变的握力值,而与操作器指的位置无关,也不受与操作器各手爪位置有关的磨损量的影响。映像摩擦技术单独地存储在 RAM 中,以便使用这个数据调整 HCTL-1000 PWM 口的占空比来克服静摩擦,得到准确的握力。

智能本地接口的硬件结构和连接如图 1 所示。

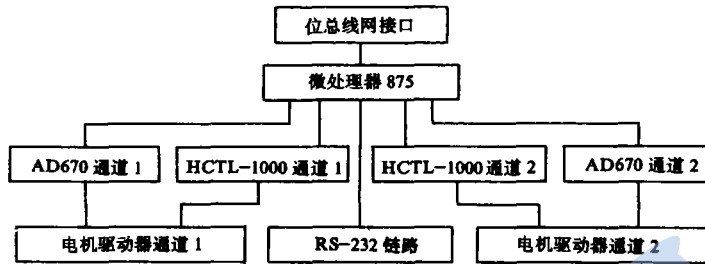


图 1 结构图

2.1 8751 单片机

8751 的 I/O 口 P2.0 至 P2.7、P3.2、P3.3、P3.4 和 P3.5 被连接到机外连接器上，以便与 BITBUS 网络接口，例如，IRCB44/10 远程控制器板，其中 P2.0 到 P2.7 为 8 位外部并行数据总线，P3.2 至 P3.5 为 I/O 控制线。8751 I/O 口的 P0.0 至 P0.7 与一个 8 位的内部数据总线相连接，以便与两个 HCTL-1000 和两个 AD670 (用来检测通过电机的电流的模/数转换器) 交换数据，它们包括运动控制通道 1 和通道 2，所以这两个通道可以用来进行二维控制或留作备份。8751 I/O 口的 P1.0 至 P1.7 用来控制通道 1 的 HCTL-1000 寄存器和通道 2 的 HCTL-1000 寄存器的 I/O 操作。8751 口的 P3.6 和 P3.7 分别用于采样通道 1 的 AD670 和通道 2 的 AD670。8751 口的 P3.0 和 P3.1 分别被连接到 1489 接收器和 1488 发送器上组成 RS-232 串行异步通信链路。这个链路用于与本地计算机或终端进行接口，处理本地运动指令，还用来与 BITBUS 网络进行接口，在 BITBUS 网络和具有 RS-232 串行异步通信链路的本地设备之间直接提供一个联系纽带。8751 的 18 脚和 19 脚被接到一个 11.0592MHz 的晶体上，使用 11.0592MHz 晶体是为了产生可供选择的一组波特速率，这组速率为 300、600、1200、2400、4800 和 9600 波特。8751 的 19 脚被接到一个分频器上，它输出一个 1.3824MHz 的方波 TTL 电平信号作为 HCTL-1000 的时钟信号。

2.2 HCTL-1000 电机控制器

HCTL-1000 的 2 脚至 9 脚作为 8 位地址/数据多路双向 I/O 口被连接到内部数据总线上。HCTL-1000 的 37 脚至 40 脚作为 I/O 控制线分别连接到 8751 相应的管脚上。HCTL-1000 的 1 脚和 30 脚作为编码通道 A 和 B 连接到逻辑电路上，通过这逻辑电路能够从电机内霍尔效应传感器得到正交通道 A 和 B。HCTL-1000 的 16 脚(PWM 脉冲输出)、26 脚(变换器 A 相输出)、27 脚(变换器 B 相输出)和 28 脚(变换器 C 相输出)连接到能够驱动三相直流无刷电机逻辑电路和功率开关电路上。

2.3 AD670 模数转换器

AD670 的脚 1 至脚 8 作为数字输出口连接到内部数据总线上，AD670 的脚 13 至 15 作为控制线分别连接到 8751 相应的管脚上。AD670 的脚 18 作为模拟输入线连接到能够检测通过电机电流和采样电阻上。

3 软件操作指令和协议

软件实时控制监控程序模块在给电时要确保系统控制初始化和实时控制回路正常运行。该实时控制系统具有 1800 微秒控制周期。在这个主模块控制下，几个软件子模块完成不同的功能。通信协议被定义为一组指令。对于每条指令，首先返回“BU”(忙)的应答，然后对于“错误”或者“准备就绪”分别返回一个“ER”和“RY”。对于某些指令，在返回“RY”之前，还返回一个 0 到 255 之间的十进制数。在返回“RY”之前，指令分析程序可以暂时地保存一个最新接收的指令而不执行，直到现行指令完成并返回“RY”时才开始执行。当初始化时，为了测试 HCTL-1000 的两个通道，首先执行一个诊断程序。诊断所产生的信息“#1”和“#2”表明测试成功，而“!1”和

"I2" 则表明测试失败。用户可随时按 ESC 键立即终止一指令回到初始化。这可以十分有效地处理紧急情况。但是, 对于网络接口, 为了在 BITBUS 网络和本地设备的 RS-232 之间传输任何数据, 用户能够转到 RS 标志。如果 LC 标志打开, 那么无论什么时候, 一旦通过电机的电流超过极限值, 转动将立即停止。通常, 当电机在某一位置上发生机械阻塞时, 较好的办法是将 LC 标志置 0, 以便关断过流检测。

3.1 RS-232 输入输出(I/O)

这是一个用来处理 RS-232 串行异步通信链路输入/输出的实时中断过程, 对于输入和输出都使用环形缓冲器并采用无溢出发生技术, 因此, 不丢失任何 I/O 信息。

3.2 网络 I/O

这是一个用来处理 BITBUS 网络和本地设备之间输入输出操作的实时中断过程。

3.3 电流限制和运动检测

这是 8751 定时器 0 溢出中兴过程。它用来避免大电流通过电机并检测电机是在转动还是停转了。

3.4 诊断

为了检测 HCTL-1000, 在初始化时执行这个过程。

3.5 HCTL-1000 读/写(R/W)

该过程用于读/写 HCTL-1000 的寄存器。

3.6 读 AD670

这个过程用于读 AD670, 以便从采样电阻上得到当前电流值, 该电流值变化范围为 0 到 255。通过 A/D 转换器反馈的电机电流数字值可以用于握力传感和确定是否发生碰触, 如果发生触碰, 这就意味着操作器已经触到某种物体了。

3.7 复位 HCTL-1000

这个过程用来初始化 HCTL-1000 的各参数, 如: 整流子环、加速度、数字滤波器增益 K 、零点 A 和极点 B 。

3.8 曲线控制

这个过程用于使机器人操作器进入梯形曲线位置控制方式。协议指令 PC 用于完成该功能。在进行位置控制之前, 必须首先执行 PC 指令。PC 指令自动地找到零参数位置, 然后完全张开到最大位置。

3.9 写位置

该过程用来使电机转动到给定的位置。协议指令 PA 和 PR 用来改变相位位置和绝对位置。

3.10 读位置

该过程用来获得电机的当前位置。协议指令 RP 用于输出操作器的当前位置。

3.11 寻找位置

使用这个过程, 用户能寻找到可以获得部件精确尺寸或者将来进行握力控制的位置。协议指令 FP 用来完成该功能。它只需要一个操作数, 这个操作数是最终无触碰停止位置。通常, 如果你想从外到里抓住任意尺寸的部件, 那么, 较好的办法是选择 255 值作为操作数。这样在触碰发生后, 操作器控制器自动地找到恰当的停止位置。如不这样选择操作数, 操作器将停止在不触碰部件的给定位置, 因而也就很难得到部件的精确尺寸或者握力控制。当机器人处于教/学方式时, 使用 FP 指令可以把位置信息返回到机器人控制器以支持部件验证和初始化设置。

3.12 检测摩擦

这个过程用来在 0~3 个点范围内检测摩擦力。同时, 将采集的数据存储于 RAM 中, 以便将来用于补偿握力控制。完成该功能的协议指令为 MF。

3.13 握力控制

该过程用来设置力为握力控制的给定值。利用 RAM 中由检测摩擦过程收集的数据, 自动地为握力控制进行摩擦力补偿, 完成该功能的协议指令为 FC。

3.14 抓握控制

该过程用来以从里到外或者从外到里的方式抓握任何尺寸的部件。协议指令 GC 是 FP 指令和 FC 指令的组合。该指令用于抓握控制。它使用两个操作数，第一个操作数是无触碰停止位置（操作数选择同 3.11 节）。这样在触碰发生以后，操作器的控制器自动地找到恰当的停止位置。否则，操作器将停止在不触碰部件的给定位置上。因而，很难完成握力控制。第二个操作数是为给定抓握力值。借助于 RAM 中的 MF 指令所采集的数据，GC 指令自动地为握力控制进行摩擦补偿。

3.15 设置 RS-232 波特率

该过程用来设置 RS-232 串行链路通信波特率，该速率为 300 到 9600 波特。这个协议指令为 SB。

3.16 指令加工

该过程是一个指令分析程序，它分析所有指令，执行它们并返回应答信息。

4 应用

由于机器人手臂具有在不确知位置上抓握各种各样物体的能力，使得应用于机器制造业的工业机器人的数量将会增加。人手被认为是人类进化的主要决定性因素之一。人脑、双眼和手一起，使得人能够制造和使用工具，适应、探索并改变其周围的物理环境。旨在代替或者扩展人的活动范围的机器人，在其演进过程中，灵巧操作器起着类似于人手在人类进化过程中所起的那种作用。现在的 NBS 的 AMREF 车削工作站已是面目一新。一部分工程已经应用于军舰的制造，并且实现了小批量自动化的柔性加工。车削工作站包括一个 Warner-Swasey WSC-12 车削中心，一个 Westinghouse Unimate 6000 开放式起重机器人和两个 Karder Industriever8000 自动存储和检索系统(AS/RS)单元。不同于 AMRF 中的其他工程站，这个车削工作站设计成一个具有精密加工、灵活适应性强的实际生产系统。目前，在美国还没有其他的类似的自动化生产系统。

5 结论

通用的智能柔性伺服控制系统作为联系纽带，在网络和本地设备之间提供一通信链路以便于实现实时分布控制。本文说明适于工业应用的潜在技术。已研究的系统作为一个柔性伺服控制器已经用于控制 Westinghouse Unimate 6000 开放式起重机器人的操作器。作为智能机器人手臂，它能够移动到用户指定的任意位置，按可调的握力以内径方式或外径方式抓握不同尺寸的部件。摩擦补偿，测量具有摩擦补偿的抓握力，并且可以完善地实现握力控制。

参 考 文 献

- 1 Dr Antal K Bejczy. Smart robot hands on the ladder of evolution. NASA Tech Briefs, 1987;(10)
- 2 NBS: Automated manufacturing research facility. November, 1987.
- 3 Joey K Parker. Position and force control when positioning objects with robot hands. Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, April, 1986
- 4 James A Maples. Experiments in force control of robotic manipulators. Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, April, 1986
- 5 David Yeaple. Motor control system pulls host out of the loop. Electronic Design, 1986;(9)
- 6 Hewlett Packard. General purpose motion control IC. Technical Data, 1986;(11)
- 7 Intel. Guide to using the distributed control modules, 1986
- 8 Intel Microcontroller handbook, 1986
- 9 Kazuo Yamazaki. Flexible servo system for mechatronic controller with a high Performance microcontroller. 13th North American Manufacturing Research Conferences Proceedings, May, 1985
- 10 David V Hutton. Microcomputer applications in direct numerical control of automated machine tools. 13th North American Manufacturing Research Conferences Proceedings, May, 1985