

即插即用式多总线电动执行器控制系统

夏继强, 孙 宇, 邢春香, 满庆丰

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191)

摘要: 采用模块化设计思想, 将 DeviceNet、Profibus-DP 以及 HART 现场总线技术应用于电动执行器控制系统。总线通信电路从主控制板上分离, 集成于总线通信卡, 通过统一的物理接口与主控制板相连, 完成与微控制单元(MCU)的数据交换, 实现多总线系统的兼容, 并通过总线类型自适应方式实现了即插即用, 降低了用户的使用难度。电动执行器可通过组态接入控制网络。

关键词: 兼容性; 模块化; 现场总线; 通信卡; 即插即用

中图分类号: TP 271+4

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2011)04-0107-05

0 引言

现场总线是一种开放式、数字化、多点通信的底层工业控制网络。目前, 世界上存在着多种总线技术, 其中, DeviceNet、Profibus-DP 作为主流总线技术的代表占据了很大市场^[1-2], 并且已经成为我国国家标准。HART 总线属于模拟控制向数字控制转变的过渡产品, 由于其成本低廉, 又能兼容传统 4~20 mA 模拟量控制, 目前仍有很强的生命力^[1,3]。

传统的现场总线设备只支持一种总线网络的接入, 无法兼容多种总线系统。同时, 由于各个国家各个公司的利益之争, 各种不同总线间的开放性和互操作性还难以实现^[4-6], 因此, 一旦生产线更新换代, 单一总线设备将无法支持新的总线网络。

收稿日期: 2010-07-14; **修回日期:** 2011-02-18
基金项目: 国家 863 高技术基金资助项目(2007AA041407); 重庆市科技计划资助项目(CSTC, 2008AC3127)
Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2007AA041407) and the Key Technologies Research and Development Program of Chongqing(CSTC, 2008AC3127)

针对上述问题, 本文采用模块化的设计思想, 将 DeviceNet、Profibus-DP 以及 HART 技术应用于电动执行器控制系统, 不但强化了其控制功能, 还大幅增强了其在现场总线系统中的兼容性。同时, 由于模块化设计思想的应用, 各通信卡与主控制板之间通过物理上统一的接口连接。本文为该系统进一步扩展其他总线接口提供了基础平台。

1 控制系统整体设计

本套控制系统主要完成以下功能: 本地电动执行器控制以及总线通信。传统的总线型控制系统大多将以上 2 个功能集成于同一块电路板上, 这种设计思路简洁清晰, 但却无法兼容多种总线系统。同时, 这种设计方法也不利于模块化的软、硬件调试, 不利于工程化的分工协作和组织生产。针对以上情况, 本系统采用模块化设计思想, 将总线系统的通信电路从主控制板上分离, 这不但实现了多种总线系统的兼容, 而且极大节约了资源。同时, 模块化的设计十分有利于软、硬件的调试, 也利于分工、协作。控制系统结构如图 1 所示。

3 种总线系统的通信电路脱离主板, 集成于通信

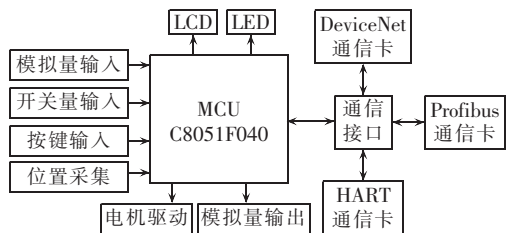


图 1 控制系统结构

Fig.1 Structure of control system

卡上,通过统一的物理接口与主控制板相连,负责将总线报文解析成能够让微控制单元(MCU)接收的数据,从而将整套控制系统接入总线网络,实现网络化。在实际应用中,用户可以根据需求选择相应的总线通信卡插入主控制板,来实现整套控制系统的网络化。

2 模块化设计

2.1 主控制板设计

系统本地控制单元结构分为以下几大模块:位置采集、模拟量输入、模拟量输出、远程开关量输入、按键输入、电机驱动、LCD 和 LED 显示等电路。其中,位置采集电路实现执行器当前位置的采集;模拟量输入电路实现远控 4~20 mA 信号的采集、转换;模拟量输出电路实现当前位置反馈值向 4~20 mA 模拟量的转换;远程开关量输入电路实现远程控制状态的采集;按键输入电路负责采集本地按键控制;电机驱动电路用于驱动电动执行器;LCD、LED 显示电路用于当前执行器位置、控制类型等信息的显示。

2.2 DeviceNet 通信卡设计

DeviceNet 现场总线底层基于 CAN 总线^[7]。本文选用了自带 CAN 控制器的 MCU(C8051F040),只需要外接 CAN 收发驱动电路,来进行逻辑电平和平衡差分码的相互转换,即可实现 DeviceNet 总线通信功能。本文选用 82C250CAN 收发器和 6N137 隔离光耦组成 CAN 收发电路,并用拨码开关来设置总线波特率和从站地址,用 DeviceNet 规范所建议的双色 LED 来指示通信模块状态和网络状态。此外,DeviceNet 要求节点能够承受各种组合的接线错误,因此本通信卡还包括了误接线保护电路 MWP (Mis-Wiring Protection)。DeviceNet 通信卡结构如图 2 所示。

2.3 Profibus-DP 通信卡设计

本文选用 SIEMENS 公司提供的 SPC3 (Siemens

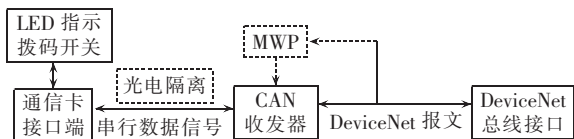


图 2 DeviceNet 通信卡结构

Fig.2 Structure of DeviceNet communication card

Profibus Controller, 3rd generation) 专用集成电路 ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 接口芯片开发 Profibus-DP 从站通信电路。SPC3 中集成了物理层 (RS-485), 数据链路层、Profibus-DP 从站用户接口以及部分现场总线管理, 与其相连的 MCU 只需要少量的软件工作就可以实现 Profibus-DP 智能从站的通信功能, 大幅缩短了系统的开发周期^[8]。SPC3 与 MCU 通过数据地址总线进行数据交换。Profibus-DP 物理层介质选用屏蔽双绞线, 在这种情况下, 物理层规范与 EIA RS-485 兼容, 驱动芯片采用 SN75LS176。SN75LS176 与 SPC3 的接口包括 RXD、TXD 和发送使能 DE, 并通过 6N137 隔离。SN75LS176 的接收使能端 RE 直接接地以保证全部接收。此外, 采用单色 LED 与 SPC3 的 XDATAEX CH 相连, 用来指示 SPC3 的工作状态, 拨码开关用于设置从站地址。Profibus-DP 通信卡结构如图 3 所示。

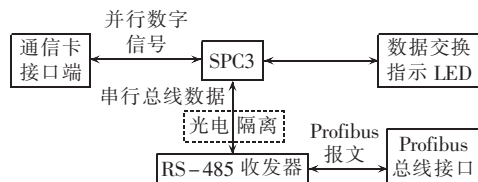


图 3 Profibus-DP 通信卡结构

Fig.3 Structure of Profibus-DP communication card

2.4 HART 通信卡设计

HART 总线通过叠加在 4~20 mA 上的正弦波调制信号进行通信, 以 1 200 Hz 代表逻辑“1”, 2 200 Hz 代表逻辑“0”。所以 HART 通信卡要实现正弦波模拟调制信号与数字信号间的转换, 并通过 UART 与 MCU 进行数据交换。本文采用三极管、运算放大器、电阻等元件搭建波形转换电路, 实现正弦波调制信号与方波信号之间的转换。方波信号与数字信号间的转换通过 HT2012 来实现。HT2012 的 ORXD、ITXD 分别与 MCU 的 RXD、TXD 相连, 进行串行数据通信, 其工作状态通过 INRTS 引脚来控制。HART 通信卡结构如图 4 所示。

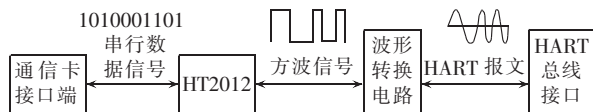


图 4 HART 通信卡结构

Fig.4 Structure of HART communication card

2.5 协议栈的实现

a. DeviceNet 协议栈的实现。本文所选用的 MCU 中集成的 CAN 控制器, 能够独立处理 CAN 报文。MCU 通过对 CAN 报文的分析、处理, 用纯软件解析比较复杂的 DeviceNet 应用层内容。DeviceNet 应用层协议解析包括设备上电重复 MAC ID 检测、仅限组 2 变量初始化、仅限组 2 报文处理函数和网络状态指示灯状态更新。

b. Profibus-DP 协议栈的实现。SPC3 中集成了

Profibus-DP 的完整协议以及 DP 状态机,并支持波特率自搜索,MCU 只需要少量的软件工作就可以实现 Profibus-DP 智能从站的通信功能,而不需要参与其状态机的转换。MCU 的具体工作包括 SPC3 的初始化,对 SPC3 接收的数据进行处理,将要发送的数据写入 SPC3,处理故障诊断和响应 SPC3 中断。

c. HART 协议栈的实现。HT2012 与其外围添加的少量无源元件协同工作完成 HART 数据帧和串口数据的相互转换。通过对串口数据的处理,MCU 通过纯软件完成 HART 命令的解析。MCU 工作包括响应 UART0 中断、接收数据处理、生成响应数据和发送响应报文。

3 多总线兼容设计

3.1 多总线通信接口硬件设计

要通过即插即用实现多总线系统的兼容,通信卡与通信接口的硬件设计要满足以下 3 个条件。

a. 各总线系统的通信卡与主控制板有物理上统一的接口。本文设计的通信接口,采用 48 针接插端子,“公头”、“母头”分别位于主控制板与通信卡上,保证了通信接口在物理上的统一。

b. 硬件上要保证 MCU 能够正确识别通信卡类型。所设计的 3 种通信卡上分别集成了不同的通信卡标识符,保证了 MCU 可以通过通信接口来读取通信卡信息,识别通信卡类型。

c. 通信接口资源要足够多以保证正常的数据交换。在主控制板上,接口资源包括 CAN 控制器接收、发送端 CANRX、CANTX;可配置为数据地址总线的 I/O 口;UART 接口 RXD、TXD;外部中断 INT0;若干通用 I/O 口。其中,CAN 控制器接口用于 DeviceNet 报文的收发;数据地址总线和外部中断用于 MCU 和 SPC3 间的互操作;UART 接口用于 MCU 与 HT2012 的通信;通用 I/O 口用于 LED 控制、拨码开关的读取、标识符的识别及通信卡工作状态的控制等。在通信卡上,根据各自的总线类型,有选择地使用或不使用以上资源。如 DeviceNet 通信卡使用 CAN 接口,而不是用数据地址总线;Profibus-DP 通信卡使用数据地址总线与外部中断,不使用 CAN 接口。各通信卡中未用到的 MCU 资源上拉,以保证系统工作稳定。

综上,通信卡与通信接口的设计在硬件上保证了多总线系统的兼容。

3.2 总线类型自适应

在实际工业现场,为提高设备的使用寿命,应将设备的操作最大限度地简单化。所设计的控制系统采用即插即用方式,总线类型自适应来降低用户的操作难度。在实际应用中,用户只需要将所选择的总线通信卡插入主板即可上电正常使用,无其他诸如跳线、拨码等操作,在保证系统兼容性的同时,大幅降低了用户的工作量与使用难度。如果用户需

要更换总线网络,直接断电更换通信卡,再重新上电运行即可。总线类型自适应软件流程如图 5 所示。

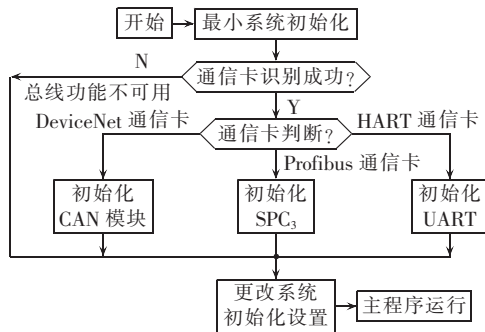


图 5 总线类型自适应软件流程

Fig.5 Flowchart of field-bus type adaption

通信卡与主控制板间的统一物理接口设计给总线系统的自适应提供了硬件保障。软件上,总线类型自适应的关键在于主控制板对于 3 种不同总线通信卡的识别、MCU 的初始化以及程序的“低耦合”设计。

3.2.1 通信卡识别

每一种通信卡上都具有与其他 2 种通信卡所不同的标识符,用于区分 3 种总线通信卡。MCU 在主控制程序运行前读取通信卡标识符,以防止电动执行器发生误动作。如果主板上未接入通信卡,或者通信卡标识符读取错误,则 MCU 报错,总线功能不可用。

3.2.2 MCU 的初始化

由于 MCU 资源有限,因此对于某些资源,在应用不同的总线通信卡工作时会“复用”。例如:MCU 高位 I/O 口 P6、P7 在使用 Profibus-DP 通信卡时,要配置为数据地址总线来访问 SPC3,而当使用 DeviceNet 通信卡时则作为通用 I/O 口来控制双色 LED 显示。所以,对于 MCU 的资源分配应该在识别总线通信卡之后来进行。

MCU 的初始化分为 2 步。

步骤 1 系统上电之后,初始化系统时钟,将所有通用 I/O 口配置为漏极开路输出,以保证执行机构不会误动作。待系统时钟稳定后,MCU 读取通信卡标识符,判断总线通信卡类型。

步骤 2 根据通信卡的类型,选择性地进行定时器、中断、ADC、DAC、UART 等资源的初始化,并改变某些通用 I/O 的输出方式为推挽输出,使其具有驱动能力。如果总线类型为 Profibus-DP,还要将高位通用 I/O 口(P6、P7)配置为数据地址总线,用于同 SPC3 的数据交换。

3.2.3 低耦合设计

本控制系统运行时,MCU 要实时地对总线数据进行处理。对于 3 种不同总线,总线数据传入 MCU 的途径都不相同。反映在软件上,就是指在不同的总线网络中,为了接收、发送总线数据,MCU 所执行的代码段不同。为了降低因总线数据处理程序的不同而给整个系统带来的影响,软件设计同样采用模

块化的设计思想,通过软接口来降低程序的耦合性。软接口结构如图 6 所示。

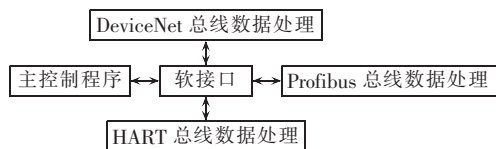


图 6 软接口结构

Fig.6 Structure of software interface

其中,主控制程序主要负责执行器输入、输出量的处理、命令的下达以及 LED、LCD 显示等;3 种总线的数据处理部分主要进行协议的解析以及总线响应报文的生成。软接口实质为电动执行器控制参数与输入、输出总线数据间的缓冲区。总线上的输入数据经过处理,赋值给数据缓冲区,当主控制程序需要访问总线数据时,将直接访问数据缓冲区里的预存值,而不必参与总线数据的处理。这样,整个程序的耦合性大幅降低,不同的总线数据处理方式对主控制程序的影响降到了最低,同时,也方便开发人员的代码编写与软件调试,便于工程化的分工协作。

3.3 其他总线接口的升级空间

目前,基于现场总线的设备开发方法主要有 2 种:一种是利用 MCU 内部集成的总线控制器,配合外部总线驱动电路收发总线报文,通过软件解析上层协议来实现总线通信功能,如 CAN、DeviceNet、CANopen^[9]、Modbus^[10]等总线的开发;另一种是利用集成了底层或完整的总线协议的 ASIC,通过数据地址总线或 UART 来读写 ASIC 内部的寄存器来实现总线通信功能,如 Profibus-DP、HART、LonWorks^[11]、FF^[12]等总线的开发。因此,所介绍的基于模块化设计的电动执行器控制系统,不但可以完全兼容 DeviceNet、Profibus-DP 以及 HART 总线,而且还有着兼容其他一些主流现场总线网络的升级空间,软、硬件上的模块化设计,也给多总线兼容系统节点的开发提供了参考。

4 组网与测试

当今对现场总线的研究多以从站开发为主,而采用功能强大的 PLC 作为主站设备,结合配套软件或第三方组态软件,将自行研发的从站设备与主站相连,组成现场总线网络^[13-14]。本控制系统组网环境如图 7 所示。

4.1 DeviceNet、Profibus-DP 组网

DeviceNet、Profibus-DP 现场总线组网环境所有

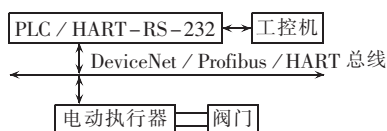


图 7 系统组网环境

Fig.7 System networking environment

传输介质和设备接插头均符合协议标准,主站设备分别采用 OMRON 工业级 PLC 上的 DeviceNet 主站模块和 SIEMENS 的 S7-300 系列 PLC 上的 Profibus-DP 主站模块,从站设备为本控制系统所驱动的电动阀门。另外,为了能够搭建一个更接近实际工作情况的测试系统,本文把第三方组态软件“组态王 6.53”与 PLC 连接,开发建立了一个从监控软件到现场总线的典型工业控制应用环境。在 DeviceNet、Profibus-DP 网络中,PLC 的 CPU 存储器中变量的变化直接映射了设备间的 I/O 通信状态。通过“组态王”与 PLC 的通信,结合上位机监控界面,可以实时反映网络通信是否流畅,以及直观方便地设置控制命令,观察电动执行器控制器的功能实现情况。

4.2 HART 组网

HART 总线一般由手持编程器或管理系统主机作为主设备^[15]。本文通过自主开发的上位机软件,以 PC 机作为 HART 主设备。传输介质采用重庆工业自动化仪表研究所研发的 HART-RS-232 转换器。上位机与本控制系统通过 HART-RS-232 转换器交换总线数据,实现 HART 总线系统的实时监控。

4.3 系统运行测试

下面以 Profibus-DP 总线系统为例说明系统测试。Profibus-DP 总线组网测试所有传输介质和设备接插头均符合协议标准,主站设备采用 SIEMENS S7-300 系列 PLC 上的 Profibus-DP 主站模块,地址为 2;从站设备为本文设计的控制系统所驱动的电动阀门,地址为 4;以及 SIEMENS ET200 从站模块,地址为 5。总线波特率 9.6 Kbit/s,并通过 RS-485/RS-232 截取总线报文以供分析、检验。经测试,该控制系统在 Profibus-DP 总线网络中,能够正确响应主站报文,完成 DP 从站由上电,经从站诊断、设置从站参数、检查从站接口配置和第 2 次从站诊断,最终到循环数据交换的状态机转换。组态软件的使用可以将从站的状态准确、实时地反映给用户。

与 Profibus-DP 总线测试结果相同,本系统能够正确接入到 DeviceNet、HART 总线网络中。

5 结论

本文采用模块化的设计思想,实现了电动执行器控制系统在 DeviceNet、Profibus-DP 和 HART 3 种总线系统中的兼容,并通过总线类型自适应实现了“即插即用”。该成果已通过重庆科委组织的重庆市科技攻关项目验收。同时,模块化的设计方法与统一的物理接口的应用,使本系统具备了兼容 FF、Modbus 等其他主流现场总线网络的升级空间。

参考文献:

- [1] JOHNSTON G. The future of fieldbus[J]. Computing and Control Engineering, 2006, 17(1): 24-29.
- [2] PARK Z W, KIM M K. Design of an integrated fieldbus gateway

- [C]//Proceedings, the 9th Russian-Korean International Symposium on Science and Technology. Novosibirsk, Russia: Novosibirsk State Technical University, 2005: 843-846.
- [3] KIM A N, HEKLAND F, PETERSEN S, et al. When HART goes wireless: understanding and implementing the wireless HART standard[C]//IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Hamburg, Germany: IEEE, 2008: 899-907.
- [4] 甘永梅. 现场总线技术及其应用[M]. 2版. 北京: 机械工业出版社, 2008: 1-101.
- [5] 韩兵, 火长跃. 现场总线仪表[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 102-140.
- [6] 张凤登. 现场总线技术与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 9-17.
- [7] 夏继强, 邢春香. 现场总线工业控制网络技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005: 179-389.
- [8] 刘美俊. Profibus 现场总线智能化 DP 从站的设计[J]. 化工自动化及仪表, 2004, 31(3): 33-34.
- LIU Meijun. Design of intelligent Profibus-DP slave[J]. Control and Instruments in Chemical Industry, 2004, 31(3): 33-34.
- [9] 陈在平, 王峰. 基于 CANopen 协议从节点研究[J]. 制造业自动化, 2010, 32(2): 27-30.
- CHEN Zaiping, WANG Feng. The research of structural analysis and slave node based on CANopen[J]. Manufacturing Automation, 2010, 32(2): 27-30.
- [10] 徐和飞, 牛秦洲, 蒋存波. 基于 Modbus 协议的开关量控制模块设计[J]. 自动化与仪表, 2009(10): 19-22.
- XU Hefei, NIU Qinzhou, JIANG Cunbo. Design of switch quantity control unit based on Modbus protocol[J]. Automation & Instrumentation, 2009(10): 19-22.
- [11] 刘东, 许自富, 王琛, 等. 基于神经元芯片的 GPIB 适配器的设计与实现[J]. 低压电器, 2009(20): 5-7.
- LIU Dong, XU Zifu, WANG Chen, et al. Design and implementation of GPIB adapter based on neuron chip[J]. Low Voltage Apparatus, 2009(20): 5-7.
- [12] 代显智, 任诚, 唐海英, 等. FF 现场总线在油田注水 stations 中的应用研究[J]. 电器应用, 2007, 26(6): 128-130.
- DAI Xianzhi, REN Cheng, TANG Haiying, et al. Foundation fieldbus' application study in water injection pump station of oilfield[J]. Electrotechnical Application, 2007, 26(6): 128-130.
- [13] 王忠锋, 于海斌, 徐皑冬. 现场总线互操作测试系统的设计与实现[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 2443-2444, 2448.
- WANG Zhongfeng, YU Haibin, XU Kaidong. Design and implementation of fieldbus interoperability test system[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27(6): 2443-2444, 2448.
- [14] 王唯唯. 基于 DeviceNet 现场总线的阀门控制系统研究[D]. 北京: 北京航空航天大学机械设计及自动化学院, 2007.
- WANG Weiwei. Research of valve control system based on DeviceNet fieldbus[D]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2007.
- [15] 杨伟清. 基于 HART 协议智能阀门定位器[D]. 天津: 天津大学电气与自动化工程学院, 2007.
- YANG Weiqing. Intelligent valve positioner based on HART protocol[D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.

(编辑: 汪仪珍)

作者简介:

夏继强(1970-), 男, 辽宁辽阳人, 副教授, 博士, 主要从事工业控制网络技术、嵌入式系统、智能仪器仪表、特种齿轮传动技术的研究和教学工作(E-mail: xiajiqiang@buaa.edu.cn);

孙宇(1985-), 男, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 主要从事工业现场总线技术、智能仪表执行器技术研究工作;

邢春香(1975-), 女, 山东潍坊人, 讲师, 硕士, 主要从事工业现场总线技术、嵌入式系统研究和教学工作;

满庆丰(1956-), 男, 满族, 吉林永吉人, 教授, 主要从事工业现场总线技术、嵌入式系统、智能仪器仪表研究和教学工作。

Plug-and-play control system compatible with different field-buses for electric actuator

XIA Jiqiang, SUN Yu, XING Chunxiang, MAN Qingfeng

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: Based on the modular design concept, the field-bus technologies of DeviceNet, Profibus-DP and HART are applied to the control system of electric actuator. The field-bus communication circuit, separated from the main control board, is integrated in field-bus communication card, which is connected to the main control board through a unified physical interface for data exchange. The field-bus type adaption is applied to realize plug-and-play. The electric actuator is connected to the control network by configuration.

Key words: compatibility; modularization; fieldbus; communication card; plug-and-play