

CANopen 协议在机器人控制器中的应用

Application of CANopen Protocol in Robot Controller

(1.中国科学院研究生院;2.中国科学院沈阳自动化研究所) 林 茂^{1,2} 贾 凯¹ 王金涛¹ 杜振军¹
LIN Mao JIA Kai WANG Jin-tao DU Zhen-jun

摘要: 针对当前机器人控制器中通讯方式不统一,复用性差的现状,本文提出了基于 CANopen 协议的机器人控制器实时通讯方案。首先介绍了控制器局域网络(CAN)的高层协议 CANopen,并结合机器人控制器与多个电机驱动器通讯的实际需求,实现了基于 CANopen 通讯协议的机器人控制器,并在实际机器人系统中进行测试。实验结果表明基于 CANopen 通讯协议的机器人控制器可以满足机器人控制系统的实时性和灵活性要求。

关键词: 控制器局域网络; CANopen; 现场总线; 机器人控制器; 实时通讯

中图分类号: TP273

文献标识码: A

Abstract: A CANopen protocol based communication method is presented in this paper to overcome the problem of communication disunity and no-reusing in robot controller. After a brief introduction of the high-level field bus protocol CANopen, a CANopen protocol based robot controller is implemented to meet the needs of communication demands from the robot controller and motor drivers. The experiment result shows that CANopen can fulfill the real-time and reusing requirement of the robot control system.

Key words: CAN; CANOpen; Field bus; Robot Controller; Real-time communication

技术创新

1 引言

CAN 总线是一种广泛应用于工业自动化、汽车工业和自动控制系统的现场总线。相对于串行接口 RS232 和串行总线 RS485,它能有效的支持分布式控制和实时控制,由于其高可靠性和实时性的特点,CAN 总线能够满足系统高性能的要求,已经深入到各个行业,例如车辆、工业控制、医疗器械、海事应用等。

在 CAN 标准协议 CAN2.0 协议、国际标准 ISO11898 定义物理层和数据链路层的基础上,由 CiA(CAN in Automation)组织监督开发了 CANopen 高层协议。CANopen 标准草案可以在网络上免费获得。它主要提供设备间的互操作性,标准化、统一的系统通讯模式,设备描述方式和网络功能以及网络节点功能的任意扩展,在工业控制中具有良好的应用前景。

本文主要提出了 CANopen 协议在机器人控制器中应用的方案,并介绍了 CANopen 协议在井下救援机器人机器人控制器中的应用,包括软硬件设计以及效能分析,为机器人控制系统中传感信息和控制信息的传输提供了一种新的解决方案。

2 CANopen 通讯协议介绍

CAN 协议只包括物理层和数据链路层两个底层协议,而 CANopen 在其基础上规定了应用层协议,其通讯模型如图 1 所示:

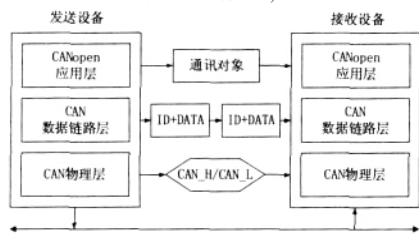


图 1 CANopen 通讯模型

良好的分层和面向对象的设计理念使得 CANopen 协议中通讯模型条理清晰。CANopen 协议接口提供在总线上收发通信对象的服务,不同设备通过 CAN 总线进行连接组网,设备间通过相互交换通讯对象进行通讯。

CANopen 协议中定义了四种通讯对象用于对不同作用的信息进行处理:SDO、PDO、NMT 和特殊对象,分别用来实现服务数据通信、过程数据通信、网络管理和紧急情况处理等功能。SDO 用来传递网络系统中的配置信息;PDO 用来实施传送过程数据信息;NMT 对象用来传递主节点对整个网络系统的管理信息;特殊功能对象用于同步、应急指示和时间标记对象。

位于 CANopen 设备模型中通信层和用户应用层之间的设备对象字典是 CANopen 协议中最核心的概念,它为用户应用层提供一个由索引和子索引唯一确定的入口。通过这个入口可以访问该设备使用的所有数据类型、通信对象和应用对象,基于 CANopen 协议的网络系统中每一个设备都要实现一个唯一的对象字典,区别在于若设备类型不同则其内容不同。

CANopen 协议采用面向对象的设计思想,具有高度模块化特性和很高的适应性,它不仅仅为应用层定义了通讯协议(DS301 等),还面向其他具体的应用定义了大量的规范(DS406 等),遵循这些规范开发出的 CANopen 设备能实现不同公司产品间的相互操作,能实现同一种应用对应多产品的替换性,大大降低了系统通讯的开发难度和扩展难度。

3 基于 CANopen 协议的机器人控制器通讯方案

3.1 硬件平台

本文在实际的机器人控制器设计中,采用 CANopen 协议实现了多电机驱动器、多传感器的协调控制,硬件平台的系统结构如图 2 所示。

系统中,使用四台直流无刷电机作为井下机器人运行的动

林 茂: 硕士研究生

力系统,实现对井下机器人动作的操纵。机器人控制器使用主频为 1G 的 CPU 板,通讯设备使用双通道隔离式高性能 CAN 总线适配卡,传输速率最大为 1Mbps。CPU 通过 PC104 总线和 CAN 适配卡相连以获得高速的数据传输。

各电机驱动器和机器人控制器之间,码盘传感器以及倾角传感器等传感器与机器人控制器之间的通讯均采用 CAN 接口。当系统运行时,控制器从个传感器采集必要的环境参数,根据环境参数作出规划,然后对各电机驱动器发送控制指令。

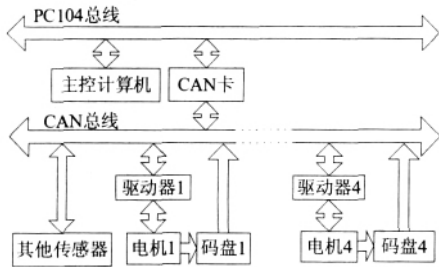


图 2 硬件系统结构图

3.2 机器人控制器通讯方案设计

整体通讯方案采用 CANopen 协议以保证数据传输的可靠性和实时性,同时保证各子系统之间通讯的简便性以及良好的扩充性能。

机器人控制器中 4 台电机驱动器和相应的码盘传感器以及其他传感器均遵循标准 CANopen 协议,作为 CANopen 网络中的不同节点与上位机进行通讯。为了达到高实时性和高的总线利用率,所有控制指令和状态采集的数据均使用 PDO 对象来传输,其中包括驱动器和码盘的状态的传输、驱动器控制指令的传输以及其他传感器如电源使用量传感器状态的传输。机器人控制器作为主站给各从站(驱动器和各种传感器)发送控制指令,而各从站将各自设备对应的状态值回送给机器人控制器进行实时控制并保存数据。

每个控制周期中,根据对象的传递过程来计算需要的 CAN 数据包个数,单个电机驱动器的控制数据使用 1 到 3 个 CAN 数据包,确认同样需要 1 到 3 个 CAN 数据包,单个码盘状态的采集需要 1 个 CAN 数据包,电源传感器状态的采集需要 1 个 CAN 数据包。系统最终会实现为四个码盘,四个电机加上一个电源传感器。所以每个控制周期的 CAN 数据包数大致是 29 个,所以一个周期传输传感器采集数据和控制数据总的有效数据量大约 232 字节。每个数据包有 11bit 的 ID,所以在选择 CAN 通讯最大波特率 1Mbps 的时候,可以得到最小采样周期是:

$$\frac{29 \times (11 + 8 \times 8)}{1Mbps} \approx 2.18ms \quad (1)$$

公式 1 是只考虑了有效数据位的传输所计算得到的采样周期。在实际的总线传输中,由于 CAN 总线物理层的控制位得占用一部分总线资源,所以最小采样周期应该大于 2.18 毫秒。

一般机器人控制器的采样周期是数十毫秒级,所以采用 CANopen 协议来传输传感器数据和控制数据是能够充分满足要求的。

3.3 软件设计

控制器主要功能部分电机控制模块和传感器采集模块均采用使用 CANopen 接口模块提供的 CANopen 接口和 CAN 接口 API 提供的 CAN 卡传输接口来通讯。

为了提高整个软件复用性以及松耦合性,首先在 CAN 卡厂

商所提供的 CAN 接口 API 之上封装了一个标准的 CAN 接口 API。CANopen 接口作为一个独立的模块,使用此标准的 CAN 接口 API 来访问 CAN 总线,可以达到使 CANopen 接口与 CAN 接口卡类型无关的目的。上层的电机控制模块和传感器采集模块均调用 CANopen 接口模块所提供的通讯函数来传输控制命令和状态参数。

在电机控制和传感器采集模块的内部,对 CANopen 网络从节点的编程流程如图 3 所示(电机控制模块内部的流程):

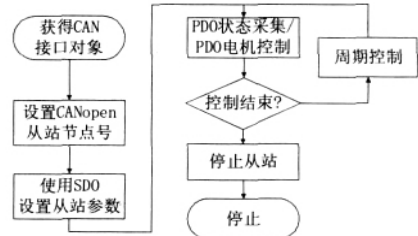


图 3 CANopen 通讯流程图

CAN 接口卡的初始化是在程序的初始化中完成的,首先从程序的全局环境中得到当前初始化好的 CAN 接口对象,通过此 CAN 接口对象来收发数据。将各驱动器和码盘等传感器添加为 CANopen 网络的从节点。然后使用 CANopen 模块提供的 SDO 读写函数来读写此从节点上的对象字典,检验主从站设备是否正常工作。接收到从节点返回的 PDO 数据报文之后,开始周期循环。在每一个同步周期内,由主站向从站发送载有控制命令的 PDO 对象,从站则向主站发送载有当前状态信息的 PDO 对象。从而实现指令和运行信息的双向读取。

4 实验验证与性能分析

通过在机器人控制器中采用 CANopen 协议来传递控制参数和码盘等传感器信息,可以很好的达到实时通讯和控制的目的。

图 4 是利用 CANopen 协议获得的电机驱动器速度跟踪曲线。



图 4 基于 CANopen 的控制器状态采样数据

其中实线是电机速度设定值,电机速度为梯形速度规划,虚线是通过 CANopen 协议传输的码盘跟踪值,控制周期和为 20ms。从采集的数据可以得出跟踪速度的误差小于 0.5%。达到了设计目标。

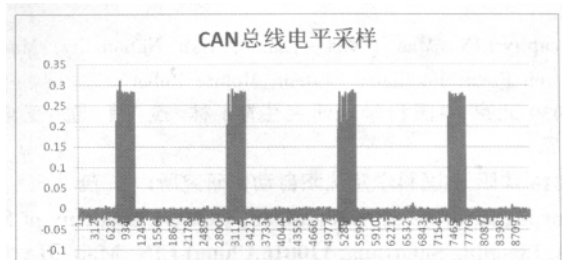


图 5 总线负载情况

在系统增加到四个电机驱动器,四个码盘传感器和一个电源传感器的时候,运行过程中使用示波器采集 CAN 总线上电平信号得到的采样图形见图 5,图中显示的是四个控制周期中总线上主从节点之间的数据传输。在一个 20ms 时间长度的控制周期的系统中,总线数据传输的时间大约是 5ms,总线的负载大约在 5%到 8%之间,符合前文分析的结果。在这种负载条件下,CANopen 协议在机器人控制器的应用中能够很好的满足其实时性通讯的要求。

在系统的调试过程中,从一个节点,到多节点的协同控制,都可以很灵活的进行配置。因为在程序的设计过程中,功能模块之间保持了很好的独立性,各个模块之间没有功能耦合,每个模块增加减少内部对象都对其他模块没有任何影响。所以每个模块内部有几个节点,就只需要增加相应的节点对象。

5 结束语

CANopen 协议以其开放,精炼的特点流行于欧洲,在各个工业领域都得到广泛的应用,本文在介绍 CANopen 协议的基础上,提供了将 CANopen 协议使用在机器人控制器上的设计与方案,并按照模块化和开放性的实现要求,实现了机器人控制器的可靠运行。分析结果表明,在机器人控制器中使用 CANopen 协议的方案能够很好的为机器人控制器提供实时可靠的数据传输。并以其内建的面向对象特性为机器人控制器提供了良好的设备扩充能力和模块独立性,具有一定的先进性。该方案为 CANopen 协议的应用提供了一种新的思路,具有一定的借鉴意义。

本文作者创新点:提出 CANopen 协议使用在机器人控制器上的设计方案并得以实现。分析结果表明,采用 CANopen 协议的机器人控制器具有良好的性能和模块独立性。具有一定的先进性。

参考文献

- [1]王俊波,胥布工.CANopen 协议分析与实现[J].微计算机信息.2008.22(6):104-106
- [2]CiA Draft Standard 301V4.02.CANopen Application Layer and communication Profile[S].Feb.2002
- [3]CiA Draft Standard 401V2.1.CANopen Device Profile for Generic I/O Modules [S].Feb.2002
- [4]赵建光,杨建武,孙树文.基于 CANopen 协议的 IO 从站的开发与应用[J].嵌入式系统应用.2007.23(8):8-10
- [5]任玮蒙,陶维青.基于 CAN 总线的高层协议 CANopen [J].自动化技术与应用.2007.26(4):128-130

作者简介:林茂(1984-),男,汉,硕士研究生。研究方向为移动机器人、智能控制;贾凯(1964-),男,汉,副研究员,研究方向:伺服电机驱动、智能控制、机器人学;王金涛(1980-),男,汉,博士,研究方向:工业机器人;杜振军(1981-),男,汉,博士,研究方向:移动机器人。

Biography:LIN Mao (1984-),male, Han Nationality, Master, Research Field: Intelligent System, Mobile Robot.

(100039 北京 中国科学院研究生院) 林 茂 贾 凯 王 金 涛 杜 振 军

(110016 沈阳 中国科学院沈阳自动化研究所) 林 茂

(Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Liaoning Shenyang, 110016, China) LIN Mao JIA Kai WANG Jin-tao DU Zhen-jun

(Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China) LIN Mao

通讯地址:(110016 沈阳市浑南新区金辉街 16 号沈阳新松机器人与自动化股份有限公司新松研究院) 林 茂

(收稿日期:2009.04.30)(修稿日期:2009.07.30)

(上接第 92 页)

在局域网内传输控制信息和小数据包时,宜采用 UDP 而非 TCP。在 UDP 下,无需通信双方进行发起连接和监听连接的操作。在 MCU 侧(下位机)创建 socket 时,不应指定目的 IP 地址和端口号,以便任意主机和端口都能访问它。为了保证采集数据的传送,要在上位机的初始化程序中向下位机发送一个包含任意信息的包,以便下位机从该包中提取出目的端的 IP 地址和端口号。为此,在启动系统时,必须先启动下位机,然后再启动上位机。在单 socket 的情况下,下位机只在收到第一个包时才进行目的端 IP 地址和端口号的提取工作,并不对随后收到的包进行该工作。上位机在创建一个 UDP socket 后,必须绑定一个固定的端口号,否则,由于上位机创建 socket 的函数会自动分配一个端口号,上位机重启一次,该端口号就会在上次分配值的基础上增加 1,这将导致上位机在重启后不能与下位机通信。

虽然在 Silicon Labs 公开发布的有关 TCP/IP 协议栈的文档中都没提到 SPI0 的中断问题,但从我们实际编程来看,如果使能了 SPI0 中断,那么协议栈的接收函数将永远处于等待状态。因此,为了使协议栈能正常工作,应屏蔽 SPI0 中断。

3 结束语

以本方案设计的设备已实现试运行。由于该方案功能完备和实用,成本和开发技术门槛低,在数据采集、工业监控、网络数据传输等领域有较高的应用价值。

它的创新处在于扩展了 AD7705 的应用,使基于 51 的设备也能进行网络通信和配备 LCD 触摸屏,同时还能进行语音的录放。

参考文献

- [1]李明,刘明杰,李晓峰.C8051 单片机在加速度测试系统中的应用[J].微计算机信息,2007.23
- [2]Silicon Laboratories Inc. 8051F34X User'S Manual.2005.
- [3]Silicon Laboratories .TTCP/IP Library Programmer's Guide.2006.
- [4]Analog Devices Inc.AD7705 user datasheet. 2000.

作者简介:潘旭兵(1965-),男(汉族),硕士,工程师,北京邮电大学,从事通信技术与嵌入式系统方面的研究;林中(1944-),男(汉族),教授,硕士生导师,从事光纤通信与检测技术,自动化方面的研究。

Biography:PAN Xu-bing (1965-),Male(Han Nationality),master, engineer, Beijing University of Posts and Telecommunications, Working at communications and embedded system.

(100876 北京 北京邮电大学自动化学院) 潘旭兵 林 中 (Beijing University of posts and Telecommunications, Beijing, 100876, China) PAN Xu-bing LIN Zhong

通讯地址:(100876 北京邮电大学 218 信箱) 潘旭兵

(收稿日期:2009.03.20)(修稿日期:2009.06.20)

您的才能 + 阅读本刊 = 您的财富