基于双 CAN 总线的数字伺服通信协议

刘艳强 郇 极

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100083)

摘 要: 分析了目前国外先进数控系统现场总线的通信特性,提出和定义了一种基于双 CAN(Controller Area Network)总线的数控系统位置控制通信协议——CANsmc(CAN for Synchronous Motion Control). CANsmc 采用主从式的双通道网络,由一个主站和最多 61 个从站组成,实现了带有广播同步电报的轮询式通信. 协议以通用的 CAN 总线芯片为硬件基础,利用 CAN 芯片通信报文的描述符定义出 CANsmc 的通信报头. CANsmc 共定义了 3 种电报类型:主站同步电报 MST,主站数据电报 MDT 和伺服电报 DT. 主站通过主通道向从站发送 MST 和 MDT,从站在收到 MDT 后通过从通道向主站反馈 DT. 最后,建立了一个 CANsmc 实验验证系统,用软件的方式实现了 CANsmc 协议,主站基于 PC 机 ISA 总线,从站是一个位控卡,可以实现位置、速度、回参考点等多种控制. 实验证明,CANsmc 总线可以满足先进工业机器人和数控机床控制系统的应用要求.

关 键 词: 数控系统; 伺服驱动器; 同步; 现场总线; CANsmc

中图分类号: TP 334.7

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)06-0729-05

Data communication protocol based on dual CAN bus for digital servo drive

Liu Yanqiang Huan Ji

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: The communication performance of advanced field bus protocols used in NC systems was analysed, and a new data communication protocol was defined based on dual CAN(controller area network) for position control system in NC—CANsmc(CAN for synchronous motion control). CANsmc, defined as a master/slave topology, consisted of one master and at most 61 slaves with two communication channels. Its communication control was polling with synchronous telegram. The protocol was based on CAN chip, and CANsmc telegram head was defined with CAN telegram descriptor. Three types of telegram were transmited in CANsmc: MST(master synchronous telegram), MDT(master data telegram) and DT(drive telegram). Master transmited MST and MDT to slaves through the master channel, and slaves fed DT back to the master through the slave channel when they received their own MDT. Finally, a CANsmc prototype was built, and protocol was implemented by using software. The master was based on PC ISA interface and the slave was a position control unit with position control, speed control and zero return functions. The prototype system proves that CANsmc could meet the satisfiction of industrial robot and CNC machine control.

Key words: numerical control(NC) systems; servo amplifiers; synchronization; field bus; CANsmc

国际先进的工业机器人和数控机床控制系统采用现场总线连接数字伺服和 IO 设备,构成了现场总线计算机数控系统. 采用现场总线连接伺服和 IO 接口能够使系统硬件扩展方便,当控制轴数和 IO 点数增加时,对数控系统硬件结构没有影响,便于控制系统的扩充和裁减. 同时,实现了分

收稿日期: 2005-06-14

作者简介: 刘艳强(1980-),男,山西吕梁人,博士生, liu_506@me.buaa.edu.cn.

布式的电机控制,可以大大减少电缆连线,便于安装维护,提高系统可靠性. 这是数控系统硬件结构的发展趋势.

目前,常用于数控系统的现场总线协议有SERCOS(SErial Real Time COmmunication Specification),PROFIBUS-DP 等. SERCOS 是一种专门用于数字伺服和传动系统的现场总线接口和数据交换协议,能够实现工业控制计算机与数字伺服系统、传感器和可编程逻辑控制器 IO 接口之间的实时数据通信. 1995 年 SERCOS 接口协议被确立为国际标准 IEC61491,成为目前用于数字伺服和传动数据通信的唯一国际标准[1]. SERCOS 通信基于专用芯片,使用费用较高,而且控制系统和伺服系统的软件开发工作量很大,制约了它的广泛应用,特别是在中低端控制系统中的应用. 因此有必要研究一种基于低成本通用工业控制现场总线芯片的数字伺服通信协议,降低现场总线数控系统的软硬件费用. 本文分析了用于数控系统的现场总线协议的通信特性,提出和定义了一种基于双CAN(Controller Area Network)总线的数控系统位置控制通信协议——CANsmc(CAN for Synchronous Motion Control),并开发出 CANsmc 的实验验证系统.

1 数字伺服现场总线通信特性分析

基于现场总线的数控系统体系结构如图 1 所示. 数控系统对现场总线的性能要求如下:

1) 总线传输的实时性. 控制计算机能够以固定的控制周期向伺服系统发送控制指令(通常为 1 ~ 10 ms).

2) 命令执行和状态反馈的同步性. 为了达到各坐标轴的同步运动精度,需要各轴在收到命令值之后必须在同一时刻同时执行位置控制指令和同时采样当前位置,发送给控制计算机.

用于数控系统的现场总线协议(介质访问控制技术)必须满足以上两个要求. SERCOS 协议采用时分多址 TDMA(Time Division Multiple Access)方式,控制时序如图 2. 主站以固定的周期广播发送主站同步电报 MST,表示一个通讯周期的开始. 所有从站将同时接收到 MST,并以此为基准,在预定的时刻 $T_{1.x}$ 发送从站数据电报 ATx(Amplifier Telegram x)给主站. 在 T_2 时刻,主站广播发送主站数据电报 MDT 给各从站. MDT 中包含了给所有从站的指令数据,由从站到指定位置读取各自的数据[2].

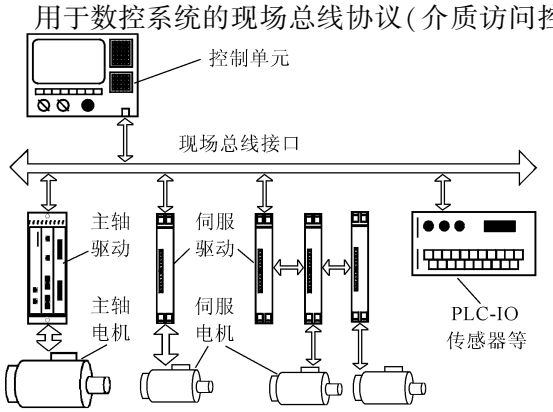


图 1 现场总线计算机数控系统的体系结构

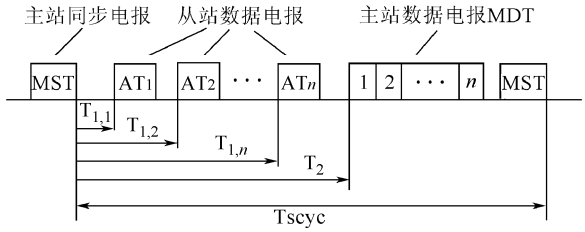


图 2 SERCOS 时分多址介质访问控制时序图

2 CANsmc 协议

CAN 总线是应用于汽车和工业控制领域的串行数字通信总线,由德国 BOSCH 公司和美国 INTEL 公司在 20 世纪 80 年代末期开发成功[3]. CAN 总线芯片可靠性高、协议精练、价格低、货源广泛,在各个领域获得了广泛的应用. 本文使用通用的 CAN 总线芯片,通过软件控制,实现了适用于数字伺服的应用层通信协议——CANsmc.

2.1 CANsmc 概述

CANsmc 采用主从式的双通道网络,由一个主站和最多 61 个从站组成,如图 3 所示. 系统的通信由主站管理和协调,通道 0 为指令通道,主站通过它向各个从站发送控制指令数据. 通道 1 为状态通道,各个从站通过它向主站发送运行状态数据.

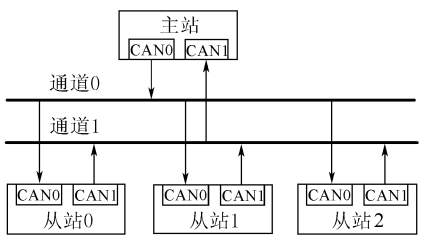


图 3 CANsmc 拓扑结构

2.2 CANsmc 协议电报格式

CANsmc 协议以 CAN 芯片为硬件基础,利用 CAN 芯片所提供的基本通信功能实现了伺服控制的应用层协议. CAN 芯片所提供的通信报文如图 4. 报文由以下部分组成,其中标识符 ID(Iden-

tifier),RTR(Remote Transmission Request)和 DLC(Data Length Code)构成报文的描述符.

1) ID0…ID10:11 位,标识符,定义报文的名称;

2) RTR:1 位,远程发送请求位,请求对方发回约定信息或执行约定命令;

3) Data 0…Data 7:8 个字节,数据场,发送或接受数据缓冲区;

4) DLC0…DLC3:4 位,数据长度码,指出数据场中有效数据的长度.

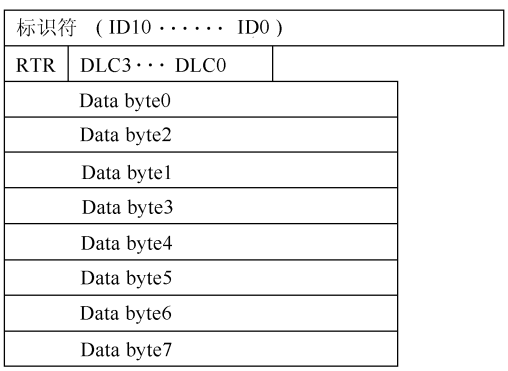


图 4　CAN 总线的标准格式报文结构

CANsmc 协议的核心是利用 CAN 芯片通信报文的描述符,定义出 CANsmc 的通信报头 TH(Telegram Head). 如图 5 所示. 报头对 CAN 报文标识符进行了定义,将它划分为功能码和地址码. 在主站上,功能码表示主站对从站的控制模式,如位置控制、速度控制等,地址码表示被操作从站的地址(站号). 在从站上,功能码表示从站对主站操作的应答,地址段指出应答从站的地址(站号).

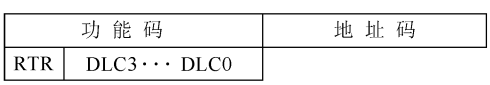


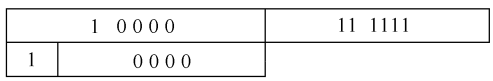
图 5　CANsmc 电报头定义

CANsmc 协议定义了 3 种电报类型,分别介绍如下:

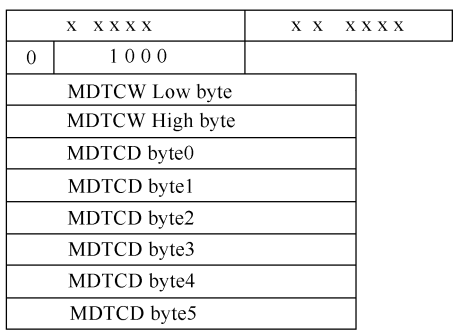
1) 主站同步电报 MST(Master Synchronous Telegram). 在一个通信周期的开始,主站通过通道 0 向各从站广播发送 MST,各从站将同时收到 MST. MST 使用广播地址 0x3F,其中没有运行数据,如图 6a.

2) 主站数据电报 MDT(Master Data Telegram). MDT 由主站通过通道 0 向从站发送,用于控制单元向从站发送控制数据,目的从站的地址由报头中的地址码设定. MDT 的运行数据长度为 8 个字节,其中前两个字节定义为指令数据控制字 MDTCW(MDT Control Word),剩余 6 个字节为指令数据 MDTCD(MDT Control Data),MDTCD 的内容取决于控制模式,如图 6b 所示.

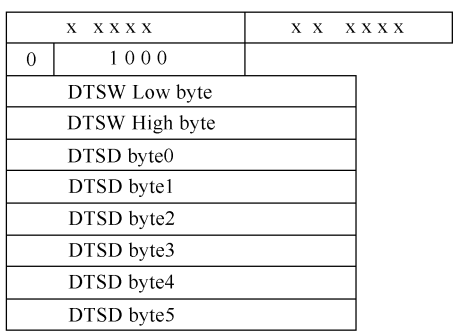
3) 伺服电报 DT(Drive Telegram). DT 电报由从站通过通道 1 向主站发送,用于从站向主站发送反馈数据,发送从站的源地址由电报头中的地址码设定. DT 的运行数据长度为 8 个字节,其中前两个字节为从站状态字 DTSW(DT Status Word),剩余 6 个字节为从站状态数据 DTSD(DT Status Data),DTSD 的内容取决于控制模式,如图 6c 所示.



a　MST 电报格式



b　MDT 电报格式



c　DT 电报格式

图 6　CANsmc 电报格式

2.3　CANsmc 周期性通信时序

在周期性通信阶段,主站和从站分别在两个通道上发送数据电报,如图 7 所示.

1) 主站通过通道 0 向所有从站广播发送主站同步电报 MST,标志一个通信周期开始. 同时,主站向控制单元发出数据请求中断,中断在Tint _ end 时刻结束,在结束之前,控制单元必须准备好控制数据;

2) 所有从站同时接收到 MST,以此时刻为基准,从站确定通信周期结束时刻 Tends. 上一周期接收到的指令值此时在从站中有效,并采样反馈

值,实现各从站指令同时有效,同一时刻采集反馈值;

3) 在 Tint _ end 时刻后,主站立即开始通过通道 0 依次发送主站数据电报 MDT 给各从站;

4) 从站接收到 MDT 之后,立即通过通道 1 发送从站伺服电报 DT 给主站;

5) 主站在通信周期结束时刻 Tendm 之前接收的 DT 有效,从站在 Tends 之后不发送 DT.

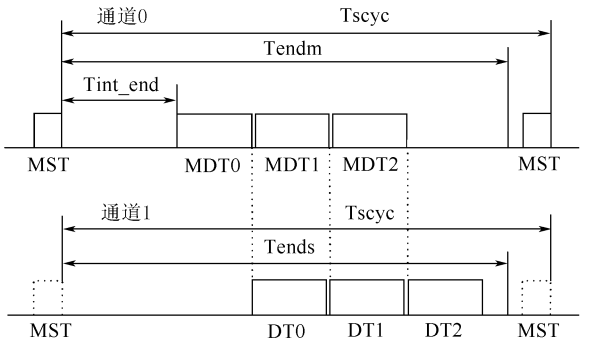


图 7 CANsmc 周期性通信时序图

通过使用两个 CAN 总线通道,CANsmc 实现了带有广播同步电报的轮询式通信,通信控制机制简单,全双工的通信方式缩短了通信周期时间,在 1 Mbit/s 的波特率时,CANsmc 协议的周期性通信性能如表 1 所示.

表 1 CANsmc 周期性通信性能

周期时间/ms	2	4	8	16
最大从站数目	10	20	40	61

2.4 CANsmc 通信建立

CANsmc 系统在上电之后,经过初始化过程进入周期性通信阶段. 初始化过程分为两个阶段:P0 和 P1 阶段.

1) P0,系统组态. 系统上电之后进入 P0 阶段. 主站在此阶段寻址各从站. 寻址到所有参加通信的从站之后,系统进入 P1 阶段. 主站发送主站联络电报 MCT(Master Connection Telegram)寻址各从站,从站接收到寻址自己的 MCT 后,发送从站联络电报 DCT(Drive Connection Telegram)做出响应. MCT 和 DCT 属于非周期性传输的 MDT 和 DT.

2) P1,系统配置. 在 P1 阶段,主站可以通过读写参数的方式对各从站的通信参数和伺服参数进行配置. 配置完成之后,系统可以进入周期性运行阶段. 在 P1 阶段,使用非周期性传输的 MDT 和 DT 进行参数读写,完成对各伺服的配置.

2.5 CANsmc 运行模式

CANsmc 接口协议的运行模式由电报头中的功能码设定,共支持 6 种预定工作模式:位置控制、速度控制、回原点、读写参数、IO 操作和读编码器计数值,以及一种用户自定义工作模式.

在位置控制模式下,位置指令值占用 4 个字节,单位是电机编码器位置分辨率. 伺服从站反馈实际位置值或跟随误差值,通过参数进行配置.

在速度控制模式下,速度指令和速度反馈的单位可以是 r/min 或 0.001 r/min,通过参数进行配置.

在返回参考点模式下,从站控制电机找到原点. 回原点完成后,可以切换到其他方式下继续运行.

在读编码器计数值模式下,主站读取指令源编码器的计数值作为其它运动轴的指令,实现多轴同步控制.

3 CANsmc 实验验证系统

图 8 为 CANsmc 协议实验验证系统原理. 控制单元为工业控制 PC 计算机,CANsmc 主站控制卡插在主板的 ISA 接口上. 控制单元和主站控制卡通过双端口存储器 DPRAM 交换数据. 主站控制卡用 ATMEGA128 单片机实现 CANsmc 的主站通信协议,并负责处理应用数据. 从站控制卡带有 CANsmc 接口,并可以通过自定义的并行总线扩展伺服位置控制卡或 IO 控制卡等设备卡,使用 ATMEGA162 单片机实现从站的通信协议,并同时操作设备卡,实现机械设备的控制. B8739 卡为一种多功能的位置控制卡,可以完成位置控制和速度控制.

实验系统软件实现了 CANsmc 协议驱动程

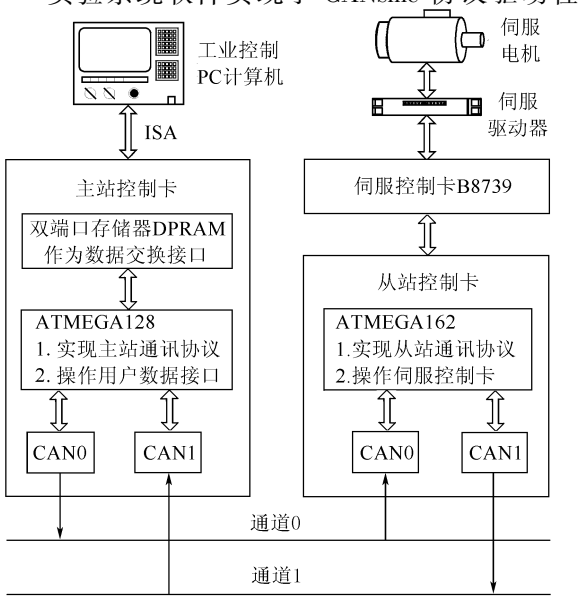


图 8 CANsmc 实验系统原理图

序,可以完成位置控制、速度控制、回原点和读写参数等操作.将 B8739 位置控制卡换成 IO 卡,可以实现 IO 操作.

4　结 束 语

本文分析了目前国外先进数控系统现场总线的通信特性,指出国际上常用的数字伺服通讯协议都是基于专用芯片,使用费用较高,应用软件开发工作量很大.为了在中低价格的数控系统中使用这种先进的硬件体系结构,提出和定义了一种基于双 CAN 总线的数控系统位置控制通信协议——CANsmc.通过实验证明,采用 CANsmc 总线和协议可以实现基于现场总线的先进工业机器人和数控机床控制系统.

参考文献 (**References**)

[1] 郇极,尹旭峰.基于数字伺服现场总线技术的开放式数控系统[J].中国机械工程,1999,10(10):1132-1134
Huan Ji, Yin Xufeng. The open CNC based on digital servo field bus[J]. China Mechanical Engineering, 1999, 10(10): 1132-1134(in Chinese)

[2] International Electrotechnical Commission. IEC61491-1995 Electrical equipment of industrial machines serial data link for real-time communication between controls and drives[S]

[3] 邬宽明. CAN 总线原理和应用系统设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,1996:20-21
Wu Kuanming. The CAN theory and application system design [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 1996: 20-21(in Chinese)

[4] Cavalieri S. Meeting real-time constraints in CAN[J]. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2005, 1(2): 124-135

[5] Rodrigues L, Guimaraes M, Rufino J. Fault-tolerant clock synchronization in CAN[C] // IEEE Proceedings-Real-Time Systems Symposium. Piscataway: IEEE, 1998: 420-429

[6] Etschberger K. CAN-based higher layer protocols and profiles [R/OL]. Weingarten: IXXAT Automation GmbH, 1997[2006-04-29]. http://www.ixxat.de/article_can_based_higher_layer_protocols_us, 10521, 8584.html

(责任编辑:张　婧)

(上接第 712 页)

参考文献 (**References**)

[1] 郝建国,黄健,黄柯棣,等. HLA 多联邦系统的实现问题研究[J].系统仿真学报,2004,16(5):868-875
Hao Jianguo, Huang Jian, Huang Kedi, et al. Research on implementation of HLA multi-federations[J]. Journal of System Simulation, 2004, 16(5): 868-875(in Chinese)

[2] 马云龙,曾令榜,吴永明.基于通用桥接成员的多联邦互联方法研究[J].计算机应用与软件, 2005, 22(1):60-61
Ma Yunlong, Zeng Lingbang, Wu Yongming. Research of based-bridge multi-fedarations interoperability[J]. Computer Applications and Software, 2005, 22(1): 60-61(in Chinese)

[3] 林新.复杂分布仿真系统工程开发及 RTI 互操作性研究[D].北京:北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院,2001
Lin Xin. Research on engineering development of complex distributed simulation system and RTI interoperability[D]. Beijing: School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2001(in Chinese)

[4] 张国峰,林新,王行仁.多联邦系统构建原则和时间延迟的探讨研究[J].系统仿真学报,2002,14(3):300-302
Zhang Guofeng, Lin Xin, Wang Xingren. Study on construction principle and time delay of multi-federations[J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(3): 300-302(in Chinese)

[5] 傅彦,顾小丰.离散数学及其应用[M].北京:电子工业出版社,1997:141-176
Fu Yan, Gu Xiaofeng. Discrete mathematics and its applications [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 1997: 141-176(in Chinese)

[6] IEEE Std 1516.1-2000, IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA) federate interface specification [S]

[7] IEEE Std 1516.2-2000, IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA) object model template (OMT) specification [S]

[8] IEEE Std 1516-2000, IEEE standard for modeling and simulation (M&S) high level architecture (HLA) — framework and rules [S]

(责任编辑:文丽芳)