

文章编号:1001-2265(2007)04-0052-04

## CANopen 运动控制协议驱动程序设计

李博, 李晓汀, 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:** CANopen 是一种开放的现场总线协议, 已经在欧洲和美国获得了广泛的认可和大量的应用, 目前已经成为欧洲嵌入式工业控制网络的主要标准协议。文章介绍了 CANopen 实时伺服驱动和运动控制设备子协议 DSP402 从站驱动程序的开发技术, 并阐述了该协议的运行机制。

**关键词:** 现场总线; CANopen; 运动控制

**中图分类号:** TP273.5 **文献标识码:** A

## Design of CANopen Drive Program for Motion Control

LI Bo, LI Xiao-ting, HUAN Ji

(School of Mechanical Engineering &amp; Automation, BeiHang University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** CANopen is an open field bus protocol, which has broad recognition and application in Europe and America. CANopen has been the main standard protocol of embeded networks for industrial automation in Europe. This paper studies the development of slave drive program of CANopen Device Profile DSP402 for realtime servo drive and motion control, and sets forth its operation mechanism.

**Key words:** fieldbus; CANopen; motion control

## 0 引言

CANopen 是一种开放的现场总线协议, 于 1995 年德国的 CAN 自动化协会 (CiA) 提出并制订, 目前已成为欧洲嵌入式工业控制网络的主要标准协议 (EN50325-4)。CANopen 协议精练、透明、便于理解, 又具有较高的实时性和可靠性、数据传输速率高, 组网成本低<sup>[1]</sup>。其中, 实时伺服驱动和运动控制子协议 (CANopen Device Profile for Drives and Motion Control, 简称 DSP402) 主要用于实时伺服驱动系统和运动控制。本文结合作者所从事的 CANopen 运动控制驱动程序开发工作, 介绍了 DSP402 驱动程序的开发技术。

## 1 CANopen 协议

(1) 概述<sup>[2]</sup>

CANopen 协议必须以 CAN 芯片为硬件基础, 有效利用 CAN 芯片所提供的简单通讯功能去实现工业控制网络的复杂应用层协议要求。CAN 芯片所提供的通讯报文如图 1。报文由以下部分组成:

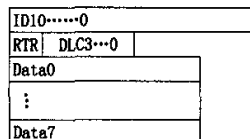


图 1 CAN 通讯报文

ID0... ID10: 11 位, 标识符, 定义报文的名称。CANopen 利用该标识符段定义 CANopen 通讯对象标识符 COB-ID (Communication Object Identifier), 并将其分为功能段 (高 4 位) 和地址段 (低 7 位), 功能段表示主站对从站的操作内容, 地址段指出被操作从站的站号;

RTR: 1 位, 远程位, 请求对方发回约定信息或执行约定命令;

DLC0...DLC3: 4 位, 数据长度标识, 指出数据场中有效数据的长度;

Data0...Data7: 8 个字节, 数据场, 发送和接收数据缓冲区。

CANopen 网络是主从站 (Master-Slave) 结构, 系统

收稿日期: 2006-10-24

作者简介: 李博 (1979—), 男, 山西运城人, 北京航空航天大学, 硕士, 研究方向为现场总线技术, (E-mail) libo\_6@sohu.com。

的运行由主站控制,主站可以对 127 个从设备进行控制,如图 2。

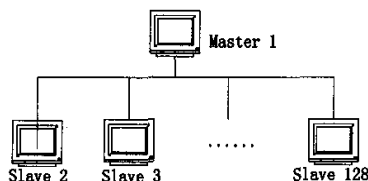


图2 CANopen 网络拓扑结构

CANopen 的通讯结构参考 ISO/OSI 模型,如图 3 所示,物理层和数据链路层基于 CAN2.0,遵守 ISO 11898 标准,物理层和数据链路层由 CAN 芯片实现;应用层由 CANopen 通讯子协议 (Communication Profile, DS301) 和设备子协议 (Device Profile) 组成,其中,通讯子协议描述了网络上所有设备都必须遵守的基本通讯机制,设备子协议实现具体的设备功能,如 DSP401 (Device Profile for Generic I/O Modules) 是通用 IO 模块子协议, DSP402 是实时伺服驱动和运动控制子协议。

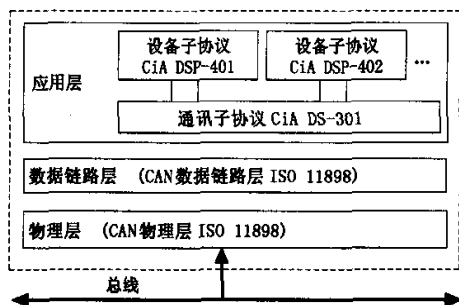


图3 CANopen 参考模型

在 CANopen 通讯协议中,设备之间的通讯是通过交换通讯对象即 COB 来实现的。通讯子协议 DS301 定义了四类通讯对象<sup>[3]</sup>:

- 1) PDO (Process Data Object): 过程数据对象,用于传递设备实时控制参数、变量;
- 2) SDO (Service Data Object): 服务数据对象,用于传送组态数据,对设备进行配置;
- 3) NMT (Network Management Object): 网络管理对象,用于对设备状态进行管理、控制、及时发现设备故障;
- 4) 特殊功能对象: 同步、应急指示和时间标记对象。

CANopen 设备模型如图 4, 通讯部分提供在总线上发送和接收通讯对象的服务。对象词典描述所有数据类型、通讯对象及设备指定的对象<sup>[4]</sup>。对象词典是 CANopen 设备的核心部分,是连接应用程序和通讯程

序的媒介,向应用程序提供接口。应用程序提供内部控制功能,也提供与硬件连接的接口。

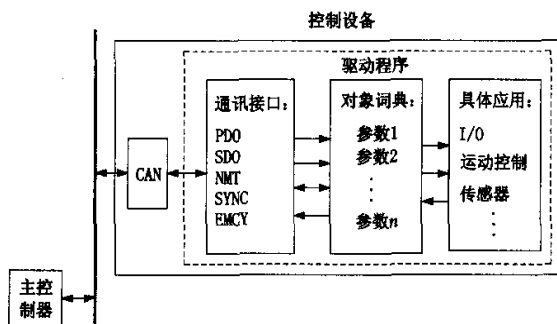


图4 CANopen 设备模型

## (2) 运动控制子协议<sup>[5]</sup>

符合 DSP402 的伺服驱动器的通讯结构如图 5 所示。伺服驱动器的通讯建立在 DS301 所规定的通信规范的基础上。设备控制状态机 (Device Control State-machine) 用于描述设备状态以及驱动器的控制顺序、控制驱动器的启动和停止、执行某些具体模式的相关命令,并且当设备出现错误时能够进行错误控制。操作模式 (Modes of Operation) 定义了驱动器的具体操作行为,共定义了 6 种操作模式:

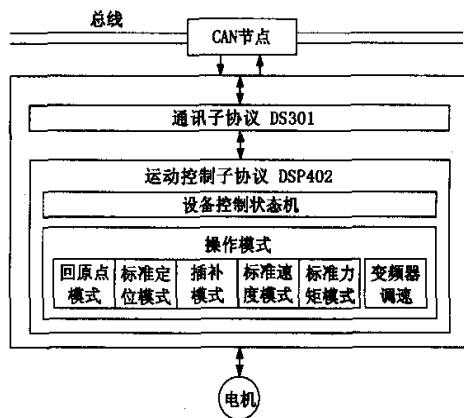


图5 伺服驱动器的通讯结构

- 1) 回原点模式 (Homing Mode);
- 2) 标准定位模式 (Profile Position Mode);
- 3) 插补模式 (Interpolated Position Mode);
- 4) 标准速度模式 (Profile Velocity Mode);
- 5) 标准力矩模式 (Profile Torque Mode);
- 6) 变频器调速模式 (Velocity Mode)。

## 2 通信时序和对象配置

DSP402 的通信时序可分为 3 个阶段: 通信建立阶段、参数配置阶段和周期运行阶段, 其中通信建立阶段

和参数配置阶段为非周期阶段。下面以插补模式为例分别对这三个阶段进行说明,并简要介绍各阶段所使用的对象。

(1)通信建立阶段

从站上电后自动进行初始化,初始化过程中从站自动加载缺省参数或上次运行保存的参数。初始化完成后,从站自动进入预运行(PRE-OPERATIONAL)状态,并通过 NMT 对象发送“启动成功(bootup)”信息给主站,如图 6。对象的标识符为 0x700 + Node-ID,数据场包括一个字节,其值为 0,表示该通讯对象为启动信息报文。

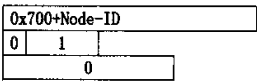


图 6 bootup 报文格式

进入预运行状态后,主站周期性地发送节点监视(nodeguard)信息对从站的通讯状态进行监视,从站收到监视信息后返回当前通讯状态,如图 7。其中 t 为翻转位,占第 7 位,s 代表从站的通讯状态,占 0...6 位。

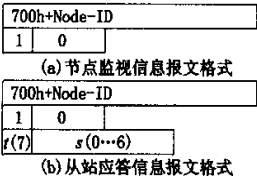


图 7 节点监视报文格式

(2)参数配置阶段

主站可以通过 SDO 对从站的通讯参数和伺服参数进行配置。

1) 通讯参数

通讯参数主要是设置从站的 PDO 映射参数和 PDO 通讯参数。PDO 映射参数配置如表 1 所示。

表 1 插补模式从站 PDO 映射参数

	索引	子索引	值	说明
RPDO1	1600h	00h	01h	映射对象的个数
		01h	0x60400010	对象 1 的索引、子索引、长度
RPDO2	1601h	00h	01h	映射对象的个数
		01h	0x60C10120	对象 1 的索引、子索引、长度
TPDO1	1A00h	00h	01h	映射对象的个数
		01h	0x60410010	对象 1 的索引、子索引、长度
TPDO2	1A01h	00h	02h	映射对象的个数
		01h	0x60630020	对象 1 的索引、子索引、长度
		02h	0x10020020	对象 2 的索引、子索引、长度

例如配置对象(1A01h,01h)的值为 0x60630020 时,所用的 SDO 的报文格式如图 8。

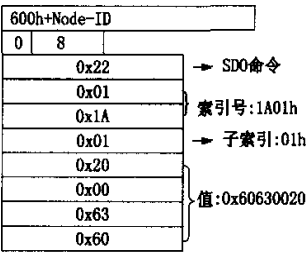


图 8 SDO 报文格式

其中 0x60630020 各部分的意义如下:

- 6063h:被映射对象的索引号;
- 00h:被映射对象的子索引;
- 20h:被映射对象的长度(4 bytes)。

图 9 为 TPDO2 的映射原理图,在映射某个对象时,该对象值的低字节在 PDO 帧数据场的低位,高字节在高位。

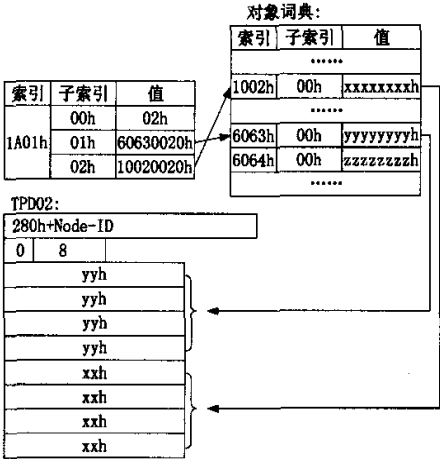


图 9 PDO 映射原理

从站工作在插补模式时需要用到两个接收 PDO (Receive PDO,RPDO)和两个发送 PDO(Transmit PDO,TPDO)。

RPDO1 用于接收主站发往从站的命令。由对象(1600h,00h) = 1 可知,RPDO1 映射一个对象,由(1600h,01h) = 0x60400010 可知,被映射的对象为(6040h,00h),该对象为控制字对象(CONTROL-WORD,用于控制从站的伺服状态),长度为2 bytes。

RPDO2 用于接受主站发往从站的插补位置指令,映射一个对象:(60C1h,01h),该对象为插补位置指令对象(Interpolation\_data\_record),长度为4 bytes。

TPDO1 用于从站将当前的伺服状态返回到主站,映射一个对象:(6041h,00h),该对象为状态字对象(STATUSWORD,表示从站当前的伺服状态),长度为

2 bytes。

TPDO2 用于从站将伺服实际位置和从站当前状态返回到主站,映射两个对象:(6063h,01h)和(1002h,00h)。其中(6063h,01h)为实际位置值对象(position\_encoder\_actual\_value),长度为 4 bytes。(1002h,00h)为状态寄存器对象(Manufacturer\_status\_register,表示伺服当前的相关信息,由伺服厂商定义),长度为 4 bytes。

然后进行 PDO 通讯参数的设置。

设置 RPDO2 的发送类型为 1:通过 SDO 将接收 PDO 通讯参数对象(Receive\_PDO2\_communication\_parameter)(1401h,02h)的值设为 1。这样每个通讯周期内,从站都会收到一个 RPDO,即插补位置指令。

设置 TPDO2 的发送类型为 1:通过 SDO 将发送 PDO 通讯参数对象(Transmit\_PDO2\_communication\_parameter)(1801h,02h)的值设为 1。这样每个通讯周期内,从站都会发送一个 TPDO,即从站实际位置值和从站的相关信息。

此外,还可设置其它一些通讯参数,如同步窗口长度对象(synchronous\_window\_length)1007h、监视时间对象(guard\_time)100Ch 等。

2) 伺服参数

通讯参数设置完毕后,通过 SDO 设置操作模式对象(modes\_of\_operation)6060h=7,选择从站为插补模式。选择操作模式后需进行相关伺服参数的设置,如表 2。伺服参数包括标准参数(对象词典 0x6000~0x9FFF 区)和厂商自定义参数(0x2000~0x5FFF 区,厂商自行定义)。厂商自定义参数为各种操作模式通用。

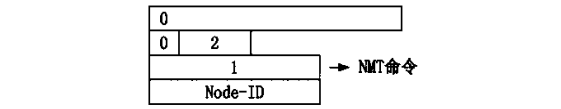
表 2 伺服参数			
参数区	索引	子索引	对 象
标准参数	60C2h	01h,02h	插补时间
	607Fh	——	最大速度
	60C5h	——	最大加速度
	60C6h	——	最大减速度
自定义参数	2000h	——	补偿数据
	2001h	——	位置增益
	2005h	——	偏移量
	.....	.....	.....

(3) 周期运行阶段

参数配置完成后,主站通过 NMT 对象发送“进入运行状态(ENTER OPERATIONAL)”命令,如图 10,从站进入运行状态,此时可进行 PDO 通信。

1) 主站通过 RPDO1 发送“驱动器准备上电”命令

(即将控制字对象 6040h 的值设为 0x0006);



- 图 10 “进入运行状态”命令报文格式
- 2) 主站通过 RPDO1 发送“驱动器上电”命令(将控制字对象 6040h 的值设为 0x0007),驱动器电源接通,伺服使能;
- 3) 主站通过 RPDO1 发送“操作使能”命令(将控制字对象 6040h 的值设为 0x000F),驱动器进入插补非激活状态;
- 4) 主站通过 RPDO1 发送“插补激活”命令(将控制字对象 6040h 的值设为 0x001F),驱动器进入插补激活状态。

经过上述四个命令后,从站进入周期运行阶段。以两轴插补为例,周期运行阶段时序如图 11 所示。其中,AX0、AX1 分别表示两个轴,MDT(Master Data Telegram)为主站发往从站的插补位置指令,即 RPDO2,DDT(Driver Data Telegram)为从站返回到主站的实际位置值和伺服的状态信息,即 TPDO2。

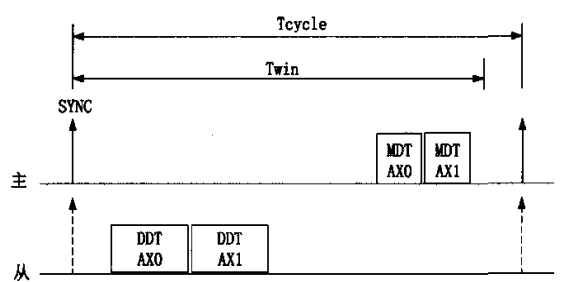


图 11 插补模式周期运行时序图

主站向所有从站广播发送同步帧 SYNC,如图 12,标志着一个通信周期的开始,发送 SYNC 后主站开始准备下一个周期所要发送的数据。从站收到 SYNC 后上个周期收到的指令值立即有效,并采样反馈值,实现各从站指令同时有效,同一时刻采样反馈值。

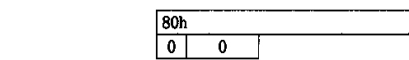


图 12 SYNC 报文格式

各从站依次通过 TPDO2 返回实际位置值和伺服的状态信息。

主站收到从站的返回值后通过 RPDO2 依次给各从站发送位置指令,位置指令必须在同步窗口时间  $T_{win}$  (由同步窗口长度对象定义)内到达从站。

(下转第 61 页)

## 5 结束语

在本文提出的数控系统控制方案中,采用 NC 嵌入 PC 架构的开放式数控系统体系结构,以工业控制计算机为 PC 平台,以通用 Windows 为操作系统,采用功能强大的 PMAC 多轴运动控制器作为 NC 模块。工控机和通用 Windows 操作系统使得系统得具有很好的可扩展性和开放性。采用 VC++ 结合 MFC 类库开发的数控系统软件充分发掘了工控机结合 Windows 平台的强大功能,能够有效地处理非实时性任务;而 PMAC 控制器则很好地完成了实时性要求很高的 NC 任务。本文为发展 PC+NC 模式的开放式数控系统提供了一条有效途径。日前该数控系统已在北京某机械厂生产的单头数控钻铣床上得到了很好应用。(图 6)



图 6 采用本数控系统的钻铣床

### [参考文献]

- [1] 周祖德,魏仁选,陈幼平. 开放式控制系统的现状、趋势及对策[J]. 中国机械工程,1999,1(10):1090-1093.
- [2] PMAC/PMAC2 Software Reference. DELTA TAU Data Systems, 1999.
- [3] PMAC 用户手册(版本 1.1). 北京元茂兴控制设备技术有限公司,2003.
- [4] 丁富强,等. 基于 PC 机的高性能数控系统的研究[J]. 机械与电子,2000(1):33-35.
- [5] 孟璇,等. 基于 PMAC 的并行双 CPU 开放式数控系统的研究与开发[J]. 组合机床与自动化加工技术,2000(10):28-30.

(编辑 赵蓉)

(上接第 55 页)

## 3 实验验证系统

图 13 为验证系统的从站。通过实验验证,当伺服驱动器工作在脉冲串控制或模拟电压控制模式时,该验证系统实现了四种操作模式:回原点模式、标准定位模式、插补模式、标准速度模式,能够按照 DSP402 对伺服驱动器进行控制。

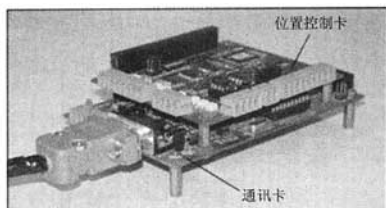


图 13 CANopen 伺服从站实验卡

实验结果表明,该从站基本实现了 CANopen 运动控制协议 DSP402,对今后 CANopen 在国内应用的推广具有重要意义。

### [参考文献]

- [1] 郇极,杨斌,魏继光. 一种开放式的现场总线协议 CANopen [J]. 制造业自动化,2004,24(10).
- [2] CANopen Application Layer and Communication Profile[Z]. CiA,2000.
- [3] 马秋霞,郇极. CANopen 现场总线从设备协议一致性测试系统研究[J]. 制造业自动化,2005,1.
- [4] 吕京建,张宏韬. CAN 总线的浅析 CANopen 协议[J]. 嵌入式系统,2002,9,A.
- [5] CANopen Device Profile for Drives and Motion Control[Z]. CiA,1998,8.

(编辑 赵蓉)

作者: [李博](#), [李晓汀](#), [郇极](#), [LI Bo](#), [LI Xiao-ting](#), [HUAN Ji](#)  
作者单位: [北京航空航天大学, 机械工程及自动化学院, 北京, 100083](#)  
刊名: [组合机床与自动化加工技术](#)   
英文刊名: [MODULAR MACHINE TOOL & AUTOMATIC MANUFACTURING TECHNIQUE](#)  
年, 卷(期): 2007 (4)  
被引用次数: 3次

## 参考文献(5条)

1. [CANopen Device Profile for Drives and Motion Control](#) 1998
2. [吕京建;张宏韬](#) [CAN总线的浅析CANopen协议](#)[期刊论文]-[嵌入式系统](#) 2002 (9A)
3. [马秋霞;郇极](#) [CANopen现场总线从设备协议一致性测试系统研究](#)[期刊论文]-[制造业自动化](#) 2005 (01)
4. [CANopen Application Layer and Communication Profile](#) 2000
5. [郇极;杨斌;魏继光](#) [一种开放式的现场总线协议CANopen](#)[期刊论文]-[制造业自动化](#) 2004 (10)

## 本文读者也读过(10条)

1. [高嵩](#). [GAO Song](#) [基于CANopen协议的伺服控制器应用](#)[期刊论文]-[电子机械工程](#)2009, 25 (6)
2. [广州致远电子有限公司](#). [Zhiyuan Electronics](#) [CANopen从站设备及其应用](#)[期刊论文]-[电子技术应用](#)2009, 35 (9)
3. [宋杰](#). [姜淑忠](#). [Song Jie](#). [Jiang Shuzhong](#) [Modbus与CANopen协议在伺服控制中的应用](#)[期刊论文]-[电工技术](#) 2009 (3)
4. [徐喆](#). [张卓](#). [闫士珍](#) [基于uC/OS-II的CANopen从节点的实现](#)[期刊论文]-[计算机系统应用](#)2008, 17 (7)
5. [广州致远电子有限公司](#). [Zhiyuan Electronics](#) [CANopen现场总线主、从站系统解决方案](#)[期刊论文]-[电子技术应用](#)2009, 35 (5)
6. [李澄](#). [赵辉](#). [LI Cheng](#). [ZHAO Hui](#) [CANopen协议及在电机系统控制中的应用](#)[期刊论文]-[机电工程](#)2008, 25 (7)
7. [牛燕平](#). [田希亮](#). [Niu Yanping](#). [Tian Xiliang](#) [基于CANopen的运动控制单元的设计](#)[期刊论文]-[测试技术学报](#) 2002, 16 (z2)
8. [王俊波](#). [胥布工](#). [Wang, Junbo](#). [Xu, Bugong](#) [CANopen协议分析与实现](#)[期刊论文]-[微计算机信息](#)2006, 22 (17)
9. [贾佳](#). [JIA Jia](#) [CANopen协议在现场总线网络中的应用](#)[期刊论文]-[现代电子技术](#)2008, 31 (15)
10. [邓遵义](#). [宁祎](#). [DENG Zun-yi](#). [NING Yi](#) [CANopen协议剖析及其在伺服电机控制中的实现](#)[期刊论文]-[机电工程](#) 2007, 24 (8)

## 引证文献(3条)

1. [刘思捷](#). [李叶松](#) [伺服系统CANopen协议软件植入方法分析](#)[期刊论文]-[电气自动化](#) 2011 (2)
2. [赵飞](#). [陈冰](#). [陈幼平](#) [基于CANopen协议的同步运动控制器](#)[期刊论文]-[机械与电子](#) 2010 (12)
3. [基于CANopen协议的移动机器人多电机控制系统](#)[期刊论文]-[工矿自动化](#) 2009 (10)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_zhjc200704014.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zhjc200704014.aspx)