

基于 CANopen 协议的伺服 驱动器现场总线接口设计*

Design of Fieldbus Interface for Servo Driver Based on CANopen Protocol

马成才 陈蔚芳 马万太

(南京航空航天大学 机电学院, 南京 210016)

摘 要: 针对交流伺服驱动器智能化与网络化的发展趋势, 分析了基于 CAN 总线的应用层协议 CANopen 的特点以及重点内容, 采用 DSP 处理器 TMS320F2812 为核心芯片设计了交流伺服驱动器的控制系统, 并提出了利用 CANopen 协议设计伺服驱动器的现场总线接口的方法; 在 CCS 环境下采用模块化编程的思想设计了位置伺服系统以及符合 DS301 通信子协议的 CANopen 协议栈, 构建了 CANopen 伺服驱动从站节点。

关键词: CANopen 现场总线 DSP 伺服控制

DOI: 10.3969/j.issn.1007-080x.2011.12.015

Abstract: To meet the development trend for intelligence and networking of servo driver, the paper analyzes the features and key contents of CANopen protocol, the application layer of CAN bus. The control system of AC servo driver is designed by using DSP processor TMS320F2812 as the core chip, and an approach of designing the fieldbus interface for AC servo driver by using CANopen protocol is proposed. In the integrated development environment CCS, the position control system and the CANopen stack based on the communication protocol DS301 is achieved under the modular programming ideology, and the build of AC servo driver as the CANopen slave node is completed as well.

Key words: CANopen fieldbus DSP servo control

0 引 言

在交流伺服系统中, 与伺服驱动器通信的上位控制系统通常为数控机床系统 (computer numerical control, CNC)、运动控制器及可编程控制器 (programmable logic controller, PLC) 等, 而交流伺服驱动器采用的传统通信接口主要为模拟接口和数字脉冲接口。随着对交流伺服系统的数字化、智能化与网络

化的要求以及网络化运动控制技术和开放式数控系统的发展, 这些传统的通信接口逐渐被淘汰, 取而代之的是基于各种开放式数字伺服控制通信协议的工业现场总线数字接口^[1]。CANopen 协议采用面向对象的思想设计, 具有模块化特性和很高的适应性, 且继承了控制器局域网 (controller area network, CAN) 本身的各种优势, 成为伺服控制中的主流现场总线技术。

* 基金项目: 江苏省科技支撑项目 (BE2011182)。

作者简介: 马成才 1987 年生, 硕士研究生。主要研究方向为机电一体化。

陈蔚芳 1966 年生, 女, 教授。主要研究方向为现代集成制造与柔性制造、制造过程优化及仿真。

马万太 1969 年生, 教授。主要研究方向为机电控制系统、企业信息化。

1 CANopen 协议分析

1.1 CANopen 现场总线技术简介

CANopen 是应用最广泛的 CAN 总线高层协议之一,采用总线型网络拓扑结构,总线上最多可有 127 个节点。在 CANopen 网络中,设备分为主站和从站两种,主站可以对各从站进行参数配置和状态监控,而从站作为被动站点,对主站发送的请求报文进行应答,并实时反馈自身的状态信息给主站。CANopen 协议由一系列被称之为通信子协议和设备子协议的协议集成构成。通信子协议(communication profile)对 CANopen 的网络框架进行规范,描述对象字典的主要形式和对象字典中通信子协议区域中的对象,同时描述 CANopen 通信对象。所有的 CANopen 设备必须遵守 CANopen 通信子协议。而设备子协议(Device Profile)则是针对各种设备的应用领域,结合设备的功能所制订的行业规范。

1.2 CANopen 通信设备模型

CANopen 设备模型分为三部分:通信接口和协议软件、对象字典、过程接口和应用程序(见图 1)。

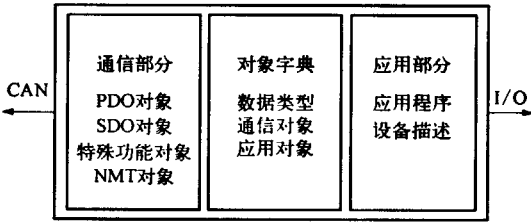


图 1 CANopen 设备模型

CANopen 的核型概念是对象字典(object dictionary, OD)。CANopen 网络中每个节点都有一个对象字典。对象字典描述了这个设备和它的网络行为的所有参数。它是一个有序的对象组,每个对象采用一个 16 位的索引和一个 8 位的子索引来确定该对象的访问入口地址。

通信接口和协议软件为设备提供各种通信对象服务。CANopen 通信模型定义了网络管理(network management, NMT)、服务数据对象(service data object, SDO)、过程数据对象(process data object, PDO)以及特殊功能对象等 4 种通信对象,这些通信对象构成了 CANopen 通信的内容和功能。设备间也是通过交换各种通信对象进行通信的。其中, NMT 用于主站对从站进行状态管理以及从站应答自身所处的通信状态; SDO

用于访问一个设备的对象字典,常用于主站对从站的对象字典进行配置和监控。为适应工业控制中的高速实时数据通信, CANopen 使用 PDO 来传输高速、小型数据;而特殊功能对象则用于同步网络中的通信对象(通常为 PDO)、及时报告设备出现的故障及紧急状态、为报文增加时间戳等功能^[2]。

应用程序是连接 CANopen 设备和担任主站功能的上位机之间的纽带,其核心功能是通过访问本设备的对象字典来对设备进行参数配置、状态控制和监控,并高速传输设备的过程数据信息。

2 交流伺服驱动器控制系统的设计

交流伺服驱动器是通过位置、速度和力矩 3 种方式对交流伺服电机进行高精度的传动系统定位的控制器,本文所设计的交流伺服控制系统的总体结构如图 2 所示。系统硬件主要由控制电路、主电路和现场总线接口电路组成。

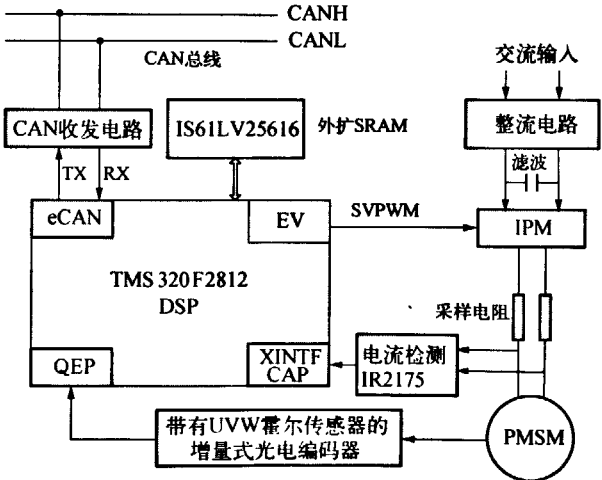


图 2 交流伺服驱动器总体设计

2.1 主电路设计

主电路由三相整流电路、滤波电路、逆变电路以及永磁同步电机(permanent magnet synchronous motor, PMSM)组成。功率器件是采用智能功率模块(intelligent power module, IPM)为核心的逆变电路。在主回路中还加入软启动电路,以减小启动过程对驱动器的冲击。功率驱动单元通过三相全桥整流电路对输入的三相电进行整流,得到相应的直流电。经过整流的三相电再通过三相正弦脉冲宽度调制(pulse width modulation, PWM)电压型逆变器变频来驱动三相交流

永磁同步电机。同时,为采样 PMSM 的三相定子电流设计了基于 IR2175 电流传感芯片的相电流检测电路,将流过采样电阻的 V 相和 W 相绕组电流以数字 PWM 信号输出,供 DSP 进行采样并根据 PWM 的占空比计算出电流当前值。

2.2 控制电路设计

控制电路由 TI 的电机控制专用 DSP 芯片 TMS320F2812 及外围电路构成,主要实现空间矢量脉冲宽度调制波形(space vector pulse width modulation, SVPWM)的生成和输出、电机光电编码器反馈的位置和速度信号的处理、电流采样信号的处理、故障信号的检测等功能。

2.3 CAN 总线接口电路设计

现场总线接口电路为交流伺服驱动器提供与其他 CANopen 设备进行通信的功能。CANopen 节点由 CAN 控制器和 CAN 收发器组成。TMS320F2812DSP 本身具有一个 32 位内部架构的 CAN 控制器 eCAN,并符合 CAN2.0B 规范。整个 CANopen 通信过程及错误处理均由 eCAN 模块完成,无需 CPU 介入,简化了 CANopen 的硬件设计内容^[3](见图 3)。

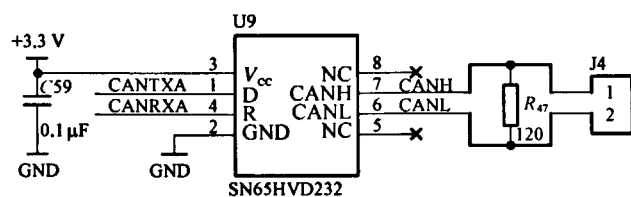


图 3 CAN 驱动电路设计

本文选用 TI 公司的 SN65HVD232 作为 CAN 收发器,其符合 CAN 串行通信协议 ISO11898 标准,专为 TMS320F2812 等具有内嵌 CAN 控制器的 DSP 提供 CAN 收发能力。为使芯片正常工作, V_{cc} 要连接经过滤波电容滤波后的 +3.3V 数字电源,GND 连接数字地。D 和 R 分别连接 TMS320F2812 的 CANTXA 和 CANTXA 引脚。CANH 和 CANL 为 CAN 总线输出引脚,并通过 CAN 接口 J4 引出的双绞线与其他 CAN 节点进行通信。在 CANH 和 CANL 引脚间并联的电阻 R_{47} 作为 CAN 总线的终端电阻,可以克服长线效应,减少通信介质中信号反射。终端电阻的阻值应等于传输导线的特性阻抗,一般取值 $120\ \Omega$ ^[4]。

3 交流伺服系统的软件设计

整个伺服系统的软件设计是在 TI 的 DSP 开发环境(code composer studio, CCS)下进行的,主要包括永磁同步电机的闭环控制程序和 CANopen 从站协议栈的实现两大部分,由主程序和数个中断服务程序构成,如图 4 所示。

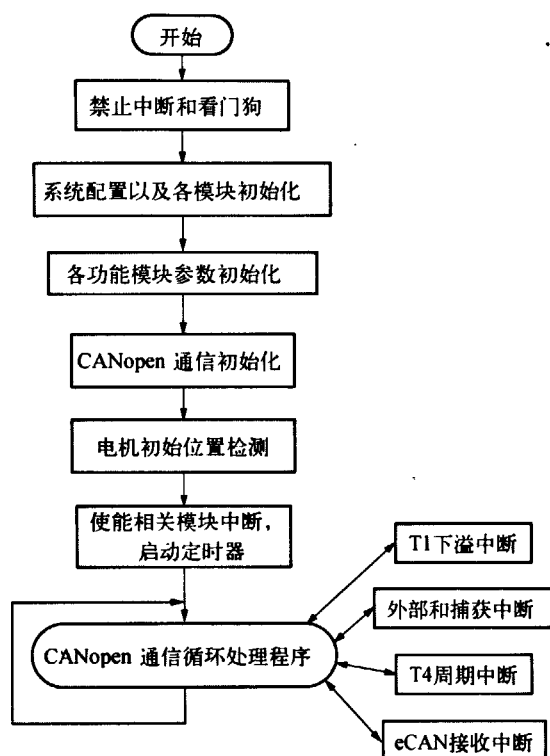


图 4 控制系统软件流程图

3.1 主程序设计

主程序主要完成 DSP 系统的初始化。初始化相关程序变量,使能全局中断,进入伺服电机编码器霍尔传感器反馈的 UVW 三路信号处理程序来判断电机初始电角度位置,最后进入 CANopen 通信循环处理子程序。

初始化 CANopen 通信主要完成的工作如下:设置从站的节点地址(node-ID)以及 CAN 通信波特率,初始化各通信对象,完成各 PDO 的预定义映射;之后是 eCAN 模块的初始化,主要包括设置 eCAN 的工作模式,分配 32 个可用邮箱中的部分邮箱作为发送和接收邮箱,并配置每个邮箱的消息标识符和存放数据字节数,使能各邮箱;最后开放 eCAN 中断线。

CANopen 通信循环处理子程序是整个 CANopen 通

信的核心,其流程如图 5 所示。

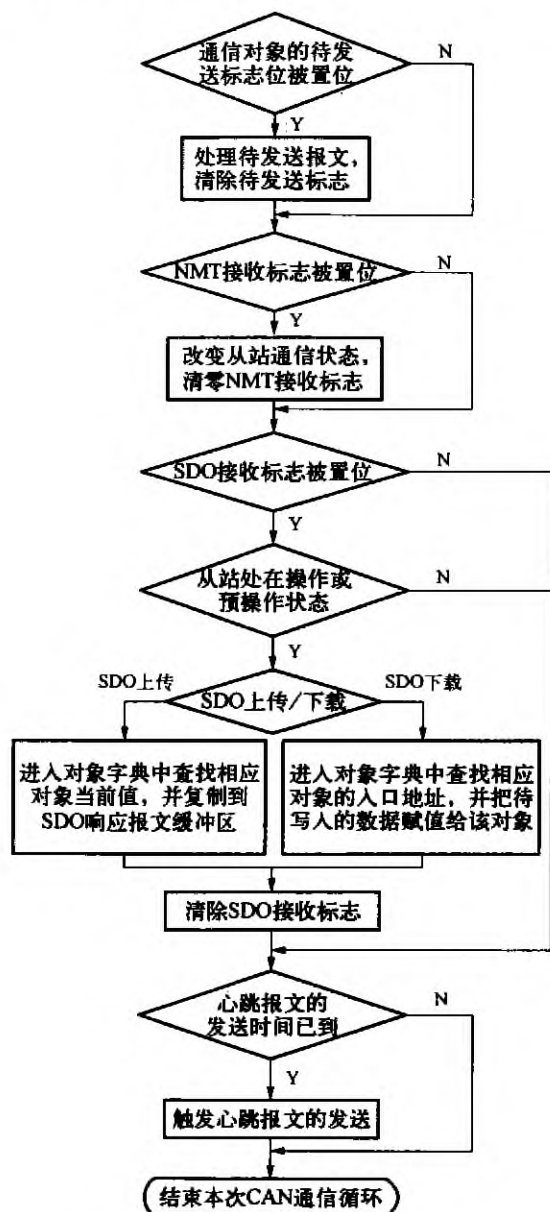


图 5 CANopen 通信循环处理程序

其主要的工作为: 首先查询是否有待发送报文, 如果有, 执行报文发送子程序。以发送 PDO (transmit PDO, TPDO) 的发送为例。程序利用 T4 来定时发送 TPDO, 具体的做法是: 判断上次发送 TPDO 时 TPDO 定时参数的计数值和当前计数值之间的差值, 若达到 TPDO 发送周期, 则触发 TPDO 的发送, 并把 TPDO 映射对象的当前值装载到 TPDO 发送缓冲区, 通过相应的 TPDO 发送邮箱发送, 并清除该 TPDO 的待发送标志。

处理完待发送报文后, 程序判断各种通信对象 (报文) 的接收标志位是否置位 (该接收标志只会在 eCAN 接收到新报文时被置位): 如果接收到的是 NMT 报文, 则根据主站发送的命令字改变从站的 NMT 通信状态标志, 并清零 NMT 接收标志, 为接收下次 NMT 命令做准备; 如果从站接收到新的 SDO 报文且当前处在操作 (operational) 或预操作 (pre-operational) 状态, 即进入 SDO 处理流程。首先根据接收的 SDO 报文的命令字判断是 SDO 上传 (读) 或下载 (写) 请求: 若为上传请求, 则根据 SDO 访问的对象字典索引和子索引去对象字典中查找到相应对象的当前值, 并复制到 SDO 发送缓冲区, 结合该对象的索引和子索引信息, 作为 SDO 响应报文的数据域, 利用预定义的通信对象标识符 (communication object identifier, COB-ID) 作为消息标识符, 发送给主站; 同样, 若接收到 SDO 下载请求, 则根据 SDO 访问的对象字典索引和子索引去对象字典中查找到相应对象的入口地址, 把 SDO 请求报文的待写入数据赋值给该对象当前值, 然后发送预定义格式的 SDO 响应报文给主站, 并清除从站的 SDO 接收标志, 这样就完成了对对象字典对象值的修改。最后处理从站心跳报文的发送。通过心跳报文定时参数的当前计数值与上次发送心跳报文时计数值的差值和预定义的心跳周期作比较来判断是否发送本次心跳。如果达到心跳发送周期, 从站即把自身的 NMT 状态值作为心跳值, 结合心跳报文的 COB-ID 发送给主站。

3.2 各中断服务程序设计

中断服务程序包括定时器 T1 的下溢中断、外部和捕获中断、T4 周期中断以及 CAN 接收中断。其中 T1 下溢中断完成完整的控制算法如图 6 所示。

其主要内容为: 复制对象字典中与电机控制有关对象的当前值 (如速度和位置给定值以及控制字) 作为当前给定控制参数; 然后进行电流采样信号的处理、电机转子的位置和速度计算、速度 PI 调节、电流 PI 调节、矢量变换以及 SVPWM 波的生成; 最后把电机电流以及速度、位置当前值以及状态字赋值给对象字典相应对象。eCAN 接收中断主要的功能为: 根据接收的报文的 COB-ID 来确定相应接收邮箱, 把该接收邮箱的数据域内容复制到相应的通信对象的数据缓冲区, 并置位该通信对象的接收标志以便 CANopen 通信循环处理子

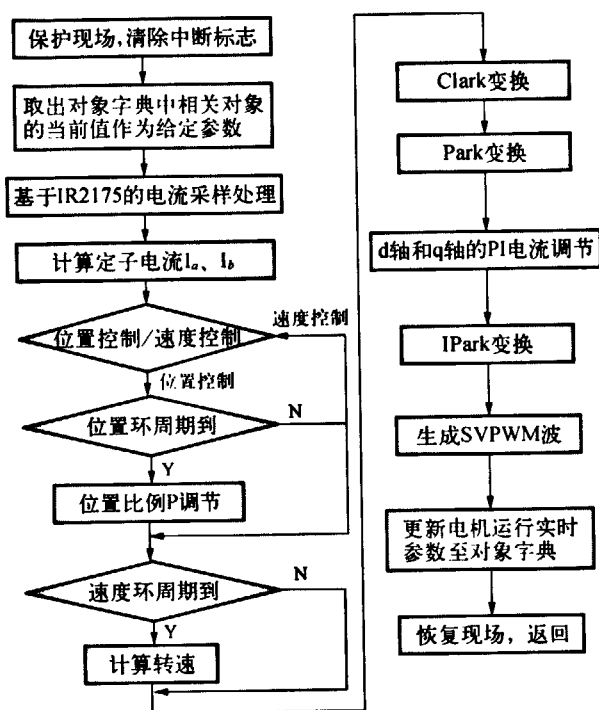


图6 T1下道中断服务程序

程序做后续处理。外部中断和捕获中断是为了采样IR2175反馈的PWM信号值,利用信号的占空比随电流大小线性变化的特点来计算出相电流大小,省去了模数转换环节。T4周期中断利用定时器T4为CANopen从站提供了CAN通信时间基准,用于心跳报文和周期TPDO定时变量值的累加,以便让从站及时发送心跳报文和TPDO。

4 实验测试

为检测伺服驱动器从站是否符合CANopen通信子协议DS301规范,并监测通信过程中CAN总线上所传输的报文,本文选用周立功单片机生产的USBCAN-II型CAN接口卡结合ZLGCANtest软件作为CANopen主站,对驱动器从站进行CANopen通信实验。通信波特率选用1Mbps,从站Node-ID设置为1,心跳周期为1s,TPDO发送周期为100ms。

实验中,从站正常完成CAN通信初始化,发送初始化(BOOT-UP)报文,之后进入预操作状态,并定时

发送心跳报文。通过主站的NMT控制,从站可进入操作状态,并发送周期性TPDO。主站也可通过SDO上传/下载请求报文来对从站对象字典中的对象进行读写访问。通信过程的CAN报文如图7所示。

帧ID	帧格式	帧类型	数据长度	数据
0x0000181	2	数据帧	8	00 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	00 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	00 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	2f 00 1a 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	80 00 1a 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	00 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	00 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	23 00 1a 01 08 00 80 60
0x0000181	2	数据帧	8	80 00 1a 01 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	00 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	23 00 1a 02 10 00 41 60
0x0000181	2	数据帧	8	80 00 1a 02 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	00 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	23 00 1a 03 20 00 64 60
0x0000181	2	数据帧	8	80 00 1a 03 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	00 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	2f 00 1a 00 03 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	80 00 1a 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	01 00 00 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	01 00 00 00 00 00 00 00
0x0000181	2	数据帧	8	01 00 00 00 00 00 00 00

图7 CANopen通信界面

5 结语

本文设计了基于CANopen协议的交流伺服驱动器现场总线接口,在此基础上编写了从站的电子数据文档(electronic data sheet,EDS),并采用周立功USBCAN-II通讯接口卡作为主站对从站进行了测试。结果表明从站具有良好的CANopen通信性能。集成了CANopen接口的交流伺服驱动器可以充分利用CAN总线和CANopen协议的特性优势,让主站实时获取驱动器从站的运行状态信息,在线配置从站参数,并且为组件分布式伺服控制系统提供了基础。

参考文献

- [1] 刘劲. 基于PROFIBUS现场总线的交流伺服驱动器从站研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2010.
- [2] H. Boterenbrood. CANopen high-level protocol for CAN-bus [M]. Amsterdam: NIKHEF, 2000.
- [3] 徐科军, 张翰, 陈智渊. TMS320X281X DSP原理与应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [4] 张云廷. 基于CANopen协议的从站的设计与应用[D]. 北京: 北京工业大学, 2009.

基于CANopen协议的伺服驱动器现场总线接口设计

作者：[马成才](#)，[陈蔚芳](#)，[马万太](#)
作者单位：[南京航空航天大学机电学院, 南京, 210016](#)
刊名：[机电一体化](#)
英文刊名：[Mechatronics](#)
年，卷(期)：2011, 17(12)

参考文献(4条)

1. [刘劲](#) [基于PROFIBUS现场总线的交流伺服驱动器从站研究](#) 2010
2. [H. Boterenbrood](#) [CANopen high-level protocol for CAN-bus](#) 2000
3. [徐科军](#); [张翰](#); [陈智渊](#) [TMS320X281X DSP原理与应用](#) 2006
4. [张云廷](#) [基于CANopen协议的从站的设计与应用](#) [学位论文] 2009

本文读者也读过(9条)

1. [刘思捷](#), [李叶松](#), [Liu Sijie](#), [Li Yesong](#) [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, 33(2)
2. [姜江](#), [吴长奇](#) [CAN总线在组合机床电控系统通信中的应用](#) [期刊论文] - [今日电子](#) 2004(4)
3. [殷苏民](#), [张平](#), [高瑞强](#), [周青](#), [YIN Su-min](#), [ZHANG Ping](#), [GAO Rui-qiang](#), [ZHOU Qing](#) [一体化永磁同步电机驱动器的设计](#) [期刊论文] - [化工自动化及仪表](#) 2011, 38(7)
4. [时新玲](#), [陈梦华](#), [刘云鹏](#) [量水仪表中传感器与放大器组合控制电路设计](#) [期刊论文] - [西北农林科技大学学报\(自然科学版\)](#) 2002, 30(6)
5. [沈芳](#), [张茂青](#), [严震宇](#), [黄鹏举](#) [基于DSP和VC++的PMSM上位机控制系统的设计](#) [期刊论文] - [苏州大学学报: 工科版](#) 2012, 32(3)
6. [韩江](#), [黄涛](#), [董伯麟](#), [夏链](#), [HAN Jiang](#), [HUANG Tao](#), [DONG Bo-lin](#), [XIA Lian](#) [基于CANopen协议的数字伺服电机通信主站研究](#) [期刊论文] - [轻工机械](#) 2012, 30(1)
7. [王瑞瑞](#) [LabVIEW在自定义应用层CAN总线通讯中的应用](#) [学位论文] 2010
8. [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)
9. [姜斌](#), [韩赞东](#) [基于DSP的爬行机器人主控制模块设计](#) [会议论文] - 2005

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jdyth201112015.aspx