

# 基于 CANopen 协议的同步运动控制器

赵 飞,陈 冰,陈幼平

(华中科技大学机械科学与工程学院,湖北 武汉 430074)

CANopen Protocol - based Synchronized Motion Controller

ZHAO Fei, CHEN Bing, CHEN You - ping

(School of Mechanical Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**摘要:**根据 CANopen 协议高实时性与高可靠性的特点,结合 CANopen 开放的源码及 STM32 处理器的硬件资源,设计了一款多轴同步运动控制器,实现了对多轴同步运动系统的网络管理及同步数据的实时传输,并通过截取通讯报文进行了实验分析,表明该控制器具有较高的实时性与可靠性。

**关键词:**CANopen;多轴同步;运动控制

**中图分类号:**TP273

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-2257(2010)12-0053-04

**Abstract:** According to the high real-time performance and reliability of the CANopen protocol, and with the open CANopen source code and the

hardware resource of STM32-based microprocessor, the CANopen-based multi-axes synchronization motion controller is proposed, which can realize the management of multi-axes synchronization system network and the transmission of synchronization data in time. By analyzing the frame data during the transmission process, The controller demonstrates its high real-time performance and reliability.

**Key words:** CANopen; multi-axes synchronization; motion control

收稿日期:2010-08-04

## 4 结束语

图像采集系统通过将串口摄像头和 GPRS 无线模块集成到嵌入式设备当中,通过无线方式接入 GPRS 网络和 Internet,传输的图像经监控中心解码程序解码后,图像不是很清晰,但是基本上能满足一般情况下的应用,系统采用无线传输方式,特别适合于无人值守的地方以及布线困难的地方进行远程监控。在该系统的基础上可以进一步扩展其它的模块,如 ZigBee 网络数据传输模块,各种传感器测控模块等,实现远程数据采集与控制。

## 参考文献:

- [1] 龙光利. 基于嵌入式系统的 GPRS 的设计[J]. 微计算机信息, 2008, 5(2): 50-51.
- [2] 胡 栋. 静止图像编码的基本方法与国际标准[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2003.

## 0 引言

CANopen 是开放的现场总线应用层协议,于

- [3] Bates R J. 通用分组无线业务(GPRS)技术与应用[M]. 朱洪波,等译. 北京:人民邮电出版社,2004.
- [4] 梅晓冬,颜焯青. Visual C# 网络编程技术与实践[M]. 北京:清华大学出版社,2008.
- [5] Yang Musheng, Zhang Yu, Chen Rong. Study on wireless remote monitoring system based on GPRS[A]. The International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008. 1-4.
- [6] 王 朋,刘毅敏,徐望明. 一种基于 GPRS 技术的远程水质监测系统[J]. 微计算机信息, 2010, (1): 78-80.
- [7] 周 乐. 图像压缩技术 JPEG 与 JPEG2000[J]. 四川兵工学报, 2001, 23(1): 21-26.
- [8] 李群芳,肖 看. 单片机原理、接口及应用——嵌入式系统技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

**作者简介:**熊 迹 (1982-),男,湖北武汉人,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络远程监控;吕植勇 (1964-),男,湖北武汉人,副教授,博士,研究方向为危险品运输监控、图像处理和运输监控。

1995年由CIA组织提出并制定,用于将CAN总线中数据的组建与传输进行标准化,提高CAN总线的通用性和开放性,目前已经成为欧洲嵌入式工控网络主要标准协议<sup>[1]</sup>。由于其开放性及其完备的数据通信和映射机制,它的物理层与链路层不局限于CAN总线,在工业以太网ETHERCAT及POWERLINK中也被广泛使用,极大地提高了CANopen数据传输与映射效率。

多轴同步运动控制系统替代传统的机械齿轮/凸轮机构,在数控机床、机器人、印刷机和包装机等包含大量运动轴的设备中得到广泛应用,在多轴同步运动控制系统中,总线的效率直接限制了各运动轴之间的同步精度及系统的高速性能。本文结合网络化多轴同步运动控制系统的开发工作,分析了CAN总线的时钟同步机制,介绍了多轴同步运动控制器的实现。

## 1 基于CANopen协议多轴同步系统

### 1.1 概述

CANopen基本的通讯规范遵循CiADS301定义,CANopen协议最核心的部分是通过对象字典对设备功能进行描述,对象字典定义了基本的数据类型、设备规范参数和通讯规范等。设备规范中,DS402是面向运动控制的驱动设备行规,定义了伺服驱动器、变频器和步进电机的功能特性。它在基本通讯规范DS301的基础上,定义了伺服驱动器运动控制的6种模式:回零模式、速度模式、标准定位模式、标准速度模式、标准转矩模式和位置插补模式<sup>[2]</sup>。DS402对象字典定义了最多8根同步轴的运动控制参数。

### 1.2 网络化多轴同步系统

根据位置环所处的位置,多轴同步系统分为集中式与分散式2种结构。集中式结构中每个轴的位置环都集中于控制器中,组成网络闭环,在每个控制周期内,运动控制器通过网络接收每个轴的位置反馈,计算轴的速度给定值并通过网络发送给各个轴伺服控制器<sup>[3]</sup>,如图1所示。

分散式控制系统中,运动轴的位置环和速度环都位于伺服控制器内,位置控制功能分散于每个伺服驱动器中,插补功能由运动控制器或者伺服驱动器完成。

基于CAN总线的CANopen网络化多轴同步

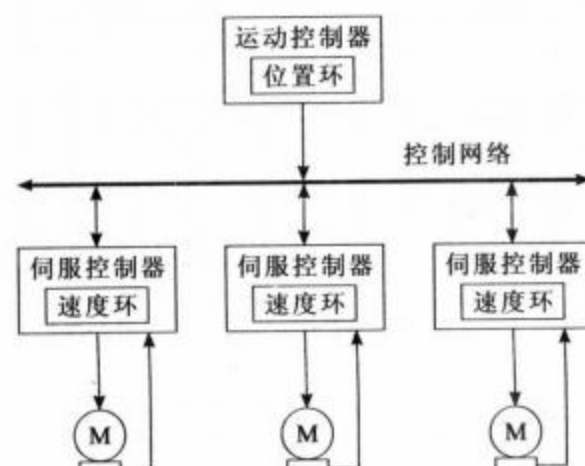


图1 集中式网络化多轴同步系统

系统拓扑结构如图2所示,拓扑随着CANopen物理层总线的不同而有所不同。网络中转矩、速度和位置等实时参数构成了CANopen网络中传输的过程数据,映射在伺服驱动器的对象字典中。

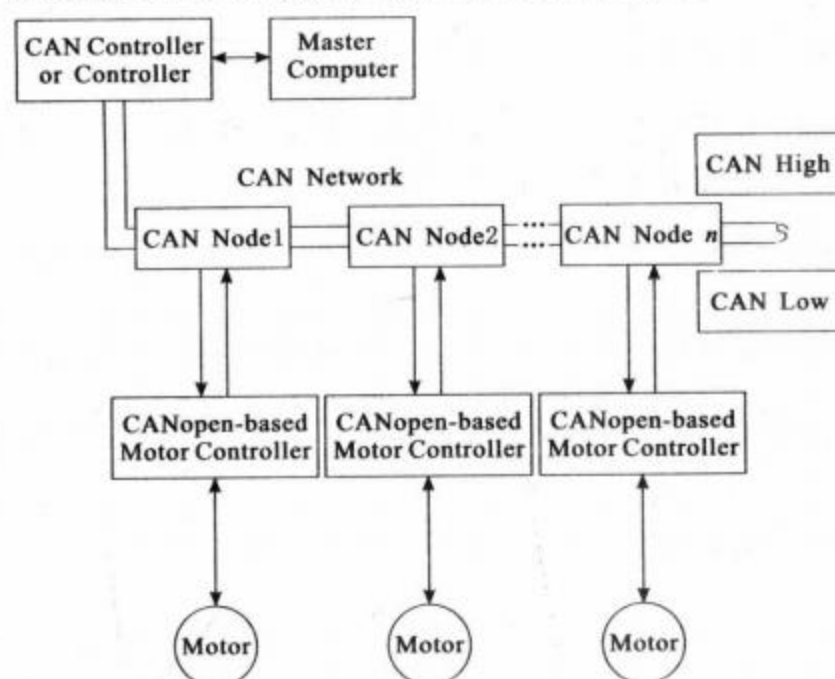


图2 CANopen多轴同步控制网络系统结构

在多轴同步控制系统中,要求位置反馈的采样和传输,控制量的运算和输出由系统中的多个节点在同一控制周期内共同完成,如果这些节点不能保持高度的同步,会对系统性能产生较大的影响<sup>[3]</sup>。因此,在网络化多轴同步控制系统中,精确的同步机制就显得十分重要。

## 2 CANopen运动控制同步机制

在CANopen网络中,数据传输的同步是通过同步对象(SYNC)来实现的,同步对象是周期性广播到总线的报文,用来实现基本的网络时钟信号<sup>[4]</sup>,网络中设备通过同步对象来实现相互同步。

SYNC对象报文格式为:

COB-ID BYTE0  
80h 00h



可以看出,同步对象功能码优先级仅次于网络管理对象,用以保证同步报文不被其它报文抢占,并且报文最短,保证了同步报文的实时性。

SYNC 报文传送后,控制器在给定的时间窗口内传送同步数据,如图 3 所示。

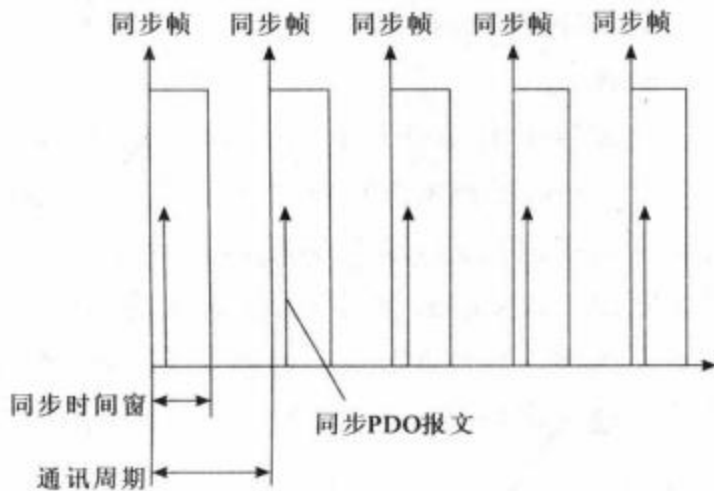


图 3 CANopen 同步

同步时间窗口宽度限制了网络设备应用层在收到同步报文后的最大响应时间。通讯周期是同步报文之间的时间间隔,控制周期为同步周期的整数倍,表示 2 条相同 PDO 报文间的同步帧数。

CANopen 同步机制与事件触发、远程请求相结合,构成了 CANopen 网络中过程数据的传输类型,即同步循环与同步非循环传输方式。

此外,CAN 总线在物理层可采用 TTCAN (time triggered CAN)的同步机制,在 CAN 总线基础上增加了时钟同步机制与时间触发调度机制。TTCAN 协议必须采用专门的芯片在硬件上加以实现。

总线的时钟同步与 CANopen 数据同步构成了 CANopen 网络的同步机制。

### 3 CANopen 多轴同步运动控制器

#### 3.1 CANopen 多轴同步控制器硬件架构

采用 CORTEX - M3 内核的 STM32F103ZET6 嵌入式处理器及 SDRAM 和 Flash 存储器,组成嵌入式系统。微处理器带有 512 kB 的 Flash 和 64 kB 的 SRAM 资源,并自带 CAN 模块,简化了 CAN 通讯外围电路设计。处理器直接对 CAN 寄存器写入 COB-ID,通过 IDE 位,RTR 位及最多 8 字节数据来发送报文,设置 COB-ID 过滤器组自动接收报文,获取报文则通过读取 FIFO。CAN 总线通信接口电路如图 4 所示。

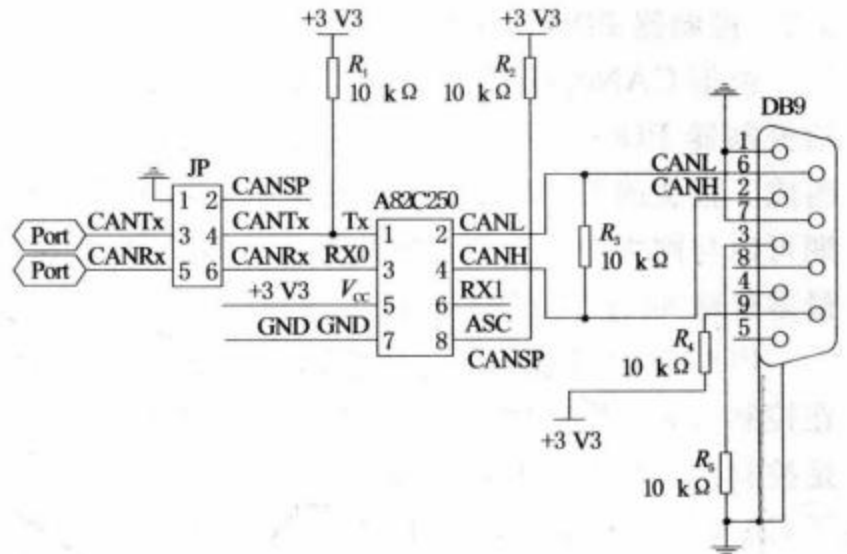


图 4 CAN 通信接口电路

A82C250 是 CAN 数据链路层协议芯片,它实现微处理器逻辑电平与 CAN 总线信号之间的转换,是处理器与外部 CAN 总线之间的接口。CAN 总线信号通过 DB9 接口第 2 与第 7 引脚连接到 CAN 网络中。

#### 3.2 CANopen 多轴同步控制器软件配置

控制器软件参考 CanFestival 组织提供的开源代码及 STM32 芯片自带的固件库资源。STM32 固件库中包含 CAN 数据收发相关函数:CAN 节点初始化、CAN 状态机制、发送/接收报文和读取报文等。API 函数要实现的功能为:读写对象字典、将 PDO 中的参数放置在本地变量中、响应 NMT 报文和对紧急报文作出特殊处理等。控制软件结构遵循了 DS302 规范,DS302 定义了可编程或智能设备的结构及状态机制。

控制器用到 4 个中断源:

a. CAN 接收中断。从站接收到报文后,硬件自动进入接收中断即时处理报文。定义局部变量 u8 F\_ID;F\_ID=((COB\_ID&0x780)>>7)

控制器根据 F\_ID 判断报文内容,并按照协议进行处理。

b. CAN 错误处理中断。CAN 错误寄存器到达一定值时,硬件进入出错中断,在该中断中,从站发送紧急报文,并处理自身节点状态(返回初始化状态或预操作状态)。

c. 定时器中断。定时器到达预定值时,硬件进入定时器中断,用来处理周期性同步或非同步的报文,如周期性心跳报文等。

d. 同步中断。当接收到一定数目同步报文时,软件进入同步中断,处理同步事件,如收/发同步 PDO 报文。

### 3.3 控制器 PDO 与同步配置

根据 CANopen 定义,有 8 条 function id 分配给控制器 PDO,function id 与网络节点的 node id 组成了报文的 COB\_ID,意味着控制器每个控制周期可以与网络中每个节点实现最多 8 条 PDO 传输,最多传输 64 字节 PDO 数据。

PDO 映射参数配置与功能码的分配,通过软件在控制器对象字典中配置来完成,控制器对象字典是控制器软件中定义的数据结构,数据结构中包含了 CANopen 对象字典里必要的对象值,定义了控制器的 CANopen 配置。

对象字典数据结构定义为:

```
struct struct_CO_Data
{
    UNS8 * bDeviceNodeId;
    const indexable * objdict;
    s_PDO_status * PDO_status;
    const quick_index * firstIndex;
    .....
}
```

网络中 PDO 的映射根据伺服节点工作模式不同而有所不同,通过软件修改控制器对象字典 PDO 映射来实现。同样的,控制器可以根据需要通过 SDO 报文写操作伺服节点对象字典,从而改变伺服节点的工作模式。

数据传输同步通过网络同步报文来实现,PDO 的传输周期为同步帧发送周期整数倍,在对象字典通讯参数子索引中设置。

控制器同步帧的发送通过定时器中断来完成,硬件周期性进入定时器中断时,主站在中断中发送同步报文,定时器时间由对象字典中 1006h 通讯周期对象决定,定时器计时参数为:

$$T = V_{1006h} \times F_r \times 10^{-6}$$

$T$  为定时器寄存器值; $V_{1006h}$  为对象 1006h 值,单位为  $\mu s$ ; $F_r$  为计时器频率,单位为 Hz。

控制器周期性采样主轴数据,作为“虚拟主轴”,根据控制算法计算出同步轴的运动参数,在下一个通讯周期发送给从动轴,并根据从动轴反馈的位置、速度和转矩等信息,对从动轴的跟随误差作出补偿。

## 4 实验结果

为验证控制器的功能,将控制器连接 2 台支持

CANopen 协议 LENZE 伺服驱动器,构成固定齿轮比的主从同步齿轮系统。驱动器工作在标准速度模式下,运动曲线的设定及传输参数的配置均在运动控制器软件中完成。

利用周立功 CAN 协议卡 USBCAN 及运行于 PC 机的 ZLGCANtest 软件,总线通讯波特率设置为 100 kbit/s。

总线波特率为 100 kbit/s 时,控制器收发 1 条报文耗时 2 ms,提高 CAN 总线波特率,可以缩短控制器通讯周期,提高运动控制精度。而采用基于工业以太网的 CANopen 同步运动控制器,最大总线波特率可达到 1 000 Mbit/s,控制器的实时性与精度能满足绝大多数高速高精同步运动控制的要求。

## 5 结束语

CANopen 协议精炼,透明,便于理解,传输速率高,具有较高的实时性和可靠性<sup>[5]</sup>,广泛应用于各种标准设备及各类总线中。基于 CANopen 协议的同步运动控制器,具有突出的通讯能力和数据处理能力,可配置性与可重用性好,简化了同步运动控制系统的开发难度,节省了系统的成本和开发时间。随着工业现场总线带宽不断地拓展,CANopen 协议的优势将得到充分发挥,基于 CANopen 协议的运动控制器必将越来越多地应用于高精度、高实时性和高运算性能的控制系统中。

### 参考文献:

- [1] 李 博,李 晓. CANopen 运动控制驱动协议设计[J]. 控制与检测,2007,(4):16-19.
- [2] CiA DS 402 V 4.02 —— CANopen Application Layer and Communication Profile[Z]. 2002.
- [3] 陈 冰. 基于时钟同步的网络化运动控制方法与实现[D]. 武汉:华中科技大学,2006.
- [4] 樊留群. 工业以太网及运动控制总线技术[M]. 上海:同济大学出版社,2009.
- [5] 李 澄,赵 辉. CANopen 协议及在电动机控制系统中的应用[J]. 微电机,2009,42(4):24-27.

作者简介:赵 飞 (1986-),男,湖北武汉人,硕士研究生,研究方向为多轴同步运动控制中的总线数据传输;陈 冰 (1977-),男,湖北武汉人,讲师,研究方向为网络化多轴同步运动控制系统。