

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2012.01.017

# 基于 CANopen 协议的数字伺服电机通信主站研究

韩江<sup>1,2</sup>, 黄涛<sup>1,2</sup>, 董伯麟<sup>1,2</sup>, 夏链<sup>1,2</sup>

(1. 合肥工业大学机械与汽车工程学院, 安徽合肥 230009;  
2. CIMS 研究所机械与汽车工程学院, 安徽合肥 230009)

**摘要:**在数控系统中利用 CANopen 总线协议实现对数字伺服驱动器的上位控制, 硬件环境为 FPGA、MCP2510、MCP2551 和 IDM640-8EIA 数字伺服驱动器。主从站之间的数据发送与接收主要以过程数据对象(PDO)和服务数据对象(SDO)的方式进行, 并采用 VHDL 语言编程, 在 FPGA 中实现 CANopen 主站的应用层功能。实验表明, CANopen 通信能成功实现, 数字伺服驱动器能够按照来自上位机的指令驱动伺服电机。图 6 表 3 参 10

**关键词:**CANopen 协议; 现场可编程逻辑门阵列(FPGA); 数字伺服电机; 对象字典

中图分类号: TM383.4 文献标志码: A 文章编号: 1005-2895(2012)01-0067-05

## Study on the Communication Master of Digital Servomotor Based on CANopen Protocol

HAN Jiang<sup>1,2</sup>, HUANG Tao<sup>1,2</sup>, DONG Bo-lin<sup>1,2</sup>, XIA Lian<sup>1,2</sup>

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;  
2. CIMS Institute, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** With the CANopen protocol, the upper control of digital servo was realized in the CNC system based on the FPGA, MCP2510, MCP2551 and IDM640-8EIA digital servo drive hardware. The data sending and receiving between master and slave were carried out with the PDO(process data objects) and SDO(service data objects) mode. During the compiling process, VHDL was the main program language, the application function of CANopen master stage can be realized in FPGA. The results show that the digital servo can drive the servo motor in agreement with the requirements from the upper control instructions and realize the CANopen communicates successfully. [Ch, 6 fig. 3 tab. 10 ref.]

**Key words:** CANopen protocol; field-programmable gate array(FPGA); digital servo; object dictionary

### 1 研究背景

多轴、多通道复合加工控制策略是当今世界数控技术研究的热点也是难点。其核心问题就是控制器与多路伺服驱动之间的通信问题, 这里的通信包括控制信号的传递、状态信号的反馈等。传统的伺服系统控制信号都是以脉冲的形式发出, 通过脉冲当量再换算出相应的电机转数, 但是随着数控系统的发展, 多轴、高速、高精度数控系统所要求的数控系统与伺服驱动

之间的通信速度大大提高, 传统的脉冲式数据传输已经很难满足这种要求。而数字伺服的出现能很好的解决这一问题, 组成伺服驱动电路的位置、速度和电流控制环节部分实现数字化, 甚至以单片机或高速数字信号处理器为硬件基础, 进行全数字化控制。文章提出了一种基于 CANopen 协议的数字伺服驱动方案。

### 2 设计方案概述

系统架构如图 1 所示, 以 FPGA 为硬件基础, 建立

收稿日期: 2011-04-11; 修回日期: 2011-04-18

基金项目: 国家重大科技专项(2009ZX04004-021); 安徽省科技创新专项(2010AHDS0242)

作者简介: 韩江(1963), 男, 河南洛阳人, 合肥工业大学教授, 博士生导师, 主要从事现代数控技术与数控系统, 数字化与网络化制造技术及其装备等方面的研究, 已发表论文 40 余篇, 出版教材 2 部, 专著 1 部。通信作者: 黄涛, E-mail: huangtao501@163.com

CANopen 主站,并组建网络,将各个数字伺服驱动连接在 CANopen 网络中。CANopen 主站负责整个网络的运行和管理,监视数字伺服驱动上的状态信息,并将数控系统插补器中得出的数据信息传给数字伺服驱动。IDM640-8EIA 型数字智能伺服是一款基于最新 DSP 技术的全数字智能伺服驱动器,集多类电机驱动与运动控制功能一体。内置 CANopen 通信对象字典,使用时需对对象字典中的参数进行配置设定。数字智能驱动器可将主站发送来的报文中的有效数字信息提取出来,在驱动器内部对数据进行加工,计算出电机运动的位移、速度、加速度等运动参数,执行相应的运动,以实现数控系统的运动控制。

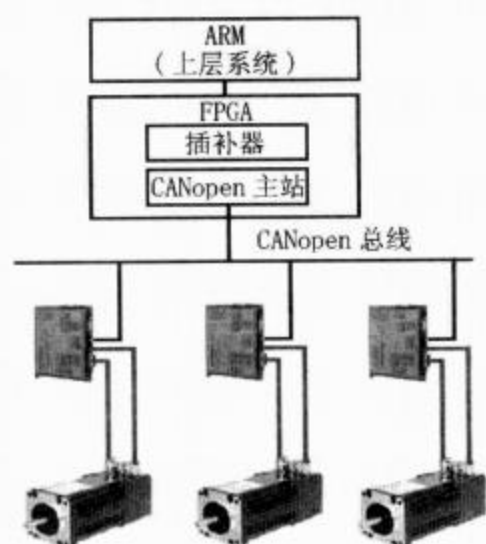


图1 基于 CANopen 协议的数字伺服系统架构

Figure 1 Frame of digital servo system based on CANopen protocol

### 3 CANopen 主站的硬件设计

CANopen 协议是 CIA 组织 (CAN in Automation) 1995 年颁布的基于 CAN 协议的高层通信协议,它包括 OSI 七层标准协议中的应用层、数据链路层和物理层<sup>[1]</sup>。CANopen 协议为一种开源协议,具有较高的配置灵活性,较高数据传输能力,较低的实现复杂度,支持各种 CAN 厂商设备的互用与互换<sup>[2]</sup>。该协议一经推出便在欧洲得到了广泛的认可与应用,通过对 CANopen 协议规范文本的多次修改,CANopen 协议在稳定性、实时性、抗干扰性等方面都得到了进一步提高。CAN 协议只定义了物理层和数据链路层 2 个底层协议,而 CANopen 协议在其基础上定义了应用层协议,其模型如下图 2 所示<sup>[3]</sup>。

CANopen 主站主要是由收发器、CAN 控制器以及 CANopen 应用层芯片组成,其中:

1) CAN 收发器为协议层中的物理层,把

CAN 控制器生成的数字信号转化成为适合总线传输的(差分输出)信号。本文采用的收发器为 MCP2551 芯片,MCP2551 是一个可容错的高速 CAN 器件,为 CAN 协议控制器提供差分收发能力,具有很强的抗干扰性。

2) CAN 控制器中固化了数据链路层的协议,其功能是处理所有总线上的报文发送和接收。本文采用的 CAN 控制器为 MCP2510 芯片,它是一款局域网络 (CAN) 协议控制器,完全支持 CAN 总线 V2.0A/B 技术规范,具备验收过滤以及报文管理功能。该器件包含三个发送缓冲器和两个接收缓冲器,具备状态寄存器和逻辑处理器,用来存储控制器的各种状态,进行总线优先权评定以及完成错误处理等功能。与应用层芯片的通讯是通过行业标准串行外设接口 (SPI) 来实现的,其数据传输速率高达 5 Mb/s。

3) CANopen 应用层芯片是在 FPGA (Field Programmable Gate Array) 中实现的。FPGA 是在 PAL、GAL 等逻辑器件的基础上发展起来的,是一种特殊的 ASIC 芯片,具有规模大、体积小、可靠性高、计算速度快等优点<sup>[4]</sup>。文中采用的是 Altera 公司的 Cyclone III 系列 EP3C80F484C8 型 FPGA,数控系统的插补计算模块也在该 FPGA 中实现,这样一来 CANopen 应用层模块就可以与插补计算模块共享数据存储器,用于存放插补运算的结果,并等待 CANopen 网络将其发送到各个从节点。

CANopen 应用层芯片加上 CAN 控制器和 CAN 收发器是构成 CANopen 主站的三大部分,在外加一些外围电路就形成 CANopen 主站的硬件电路,原理图如图 3 所示,MCP2510 通过 SCK、SI、SO 和 CS 与 FPGA 的 I/O 接口相连。

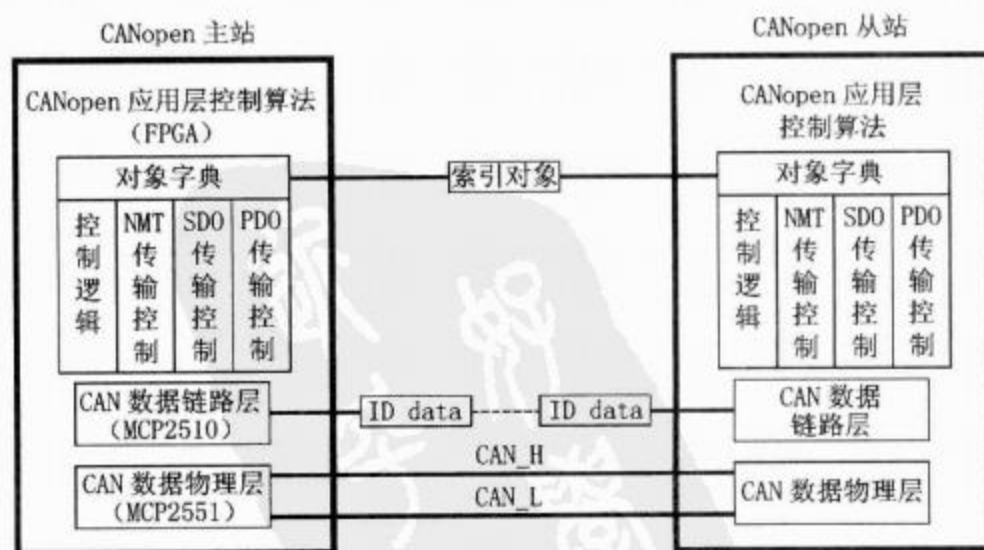


图2 CANopen 通信模型

Figure 2 CANopen communication model



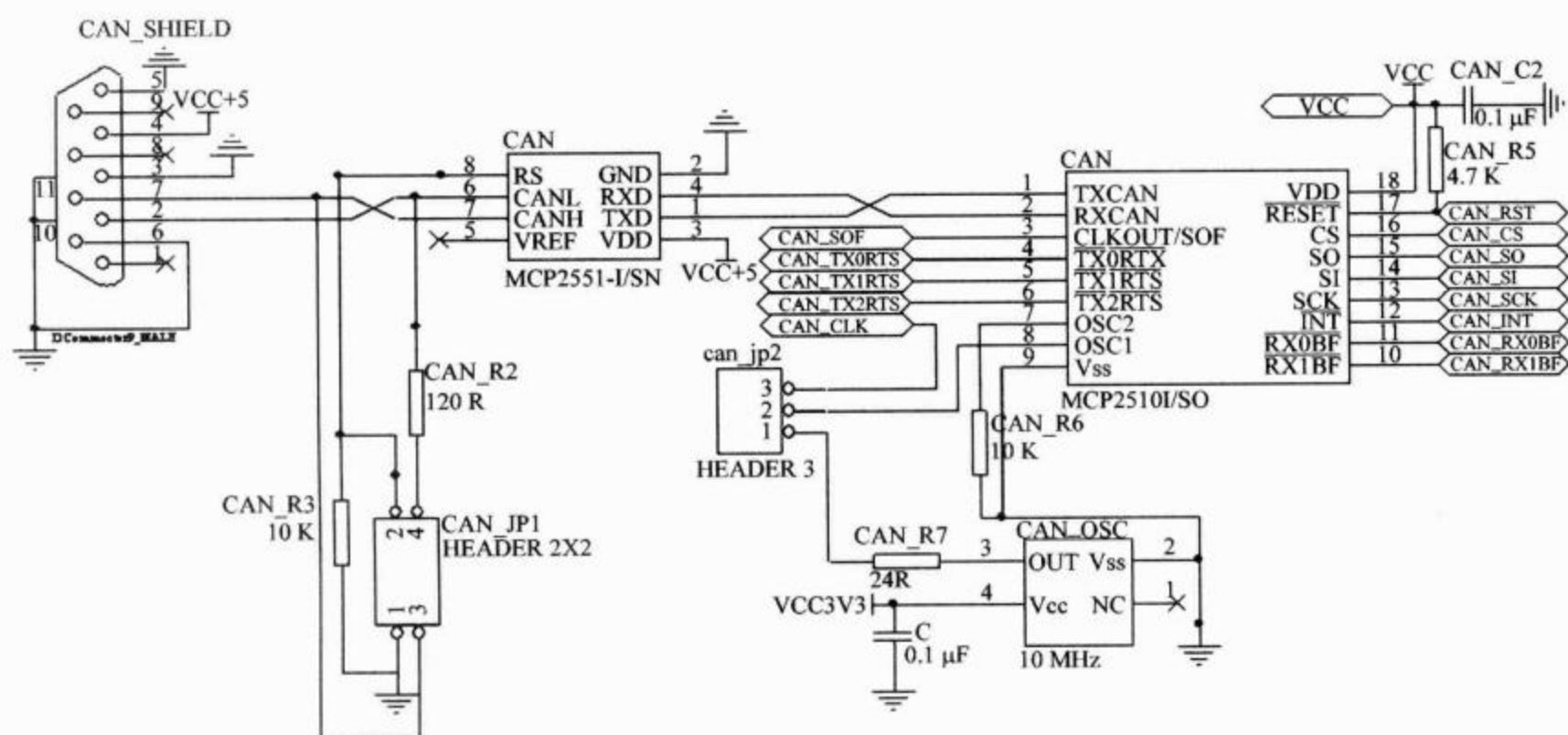


Figure 3 Task scheduler in CANopen master

#### 4 CANopen 主站任务调度状态机

有限状态机(Finite-State-Machine, 简称 FSM)在数字集成电路中是指输出取决于过去输入部分和当前输入部分的时序逻辑电路, 它将一个时序逻辑抽象成一个同步有限状态机, 有限个状态以及在这些状态之间的转移和动作等行为的数学模型就是状态机的调度<sup>[5-7]</sup>。

CANopen 主站应用层芯片共包含 14 种状态。如图 4 所示,当主站上电以后,首先需要对 CAN 控制器与 CANopen 网络进行初始化,包括 SPI 接口初始化,引脚功能配置,CAN 控制器工作模式设定等。而后状态机跳转到主站应用层接口任务状态,此任务状态的控制逻辑最为复杂,上接 4 个状态输入,下启 5 个输出状态。该状态对 CAN 控制器进行监控,根据 CAN 控制器的中断类型,进行相应的操作,如读到接收报文中断时,便启动 CAN 报文接收状态;若长期无报文接收则新 PDO 生成状态进行数据发送;若满足其他要求则进入其他相应状态。

当第 1 次进入 st1 时,需跳入新 Sync 生成状态以产生同步报文,使整个网络进行同步。第 3 个状态为报文接收,在该状态被启动以后,CAN 控制器接收缓冲区的报文被取出存放在 FPGA 的接收缓冲区中,同时 CAN 控制器的相关状态寄存器将被复位。接下来是报文解析分发状态,在此模块根据接收报文的 COB-ID 将报文分类,并相应地启动 PDO 处理、SDO 处理和

NMT 处理 3 个状态中相应的状态。随后报文将在此 3 个处理器中进行处理。新 PDO 生成状态模块用于产生新的 PDO 数据,数控系统插补器计算的数据结构都是由此模块发送给相应的轴节点。新 SDO 生成状态模块是进行对象字典读取与改写的场所。新 NMT 生成状态模块用于网络管理指令的下达。报文封装状态

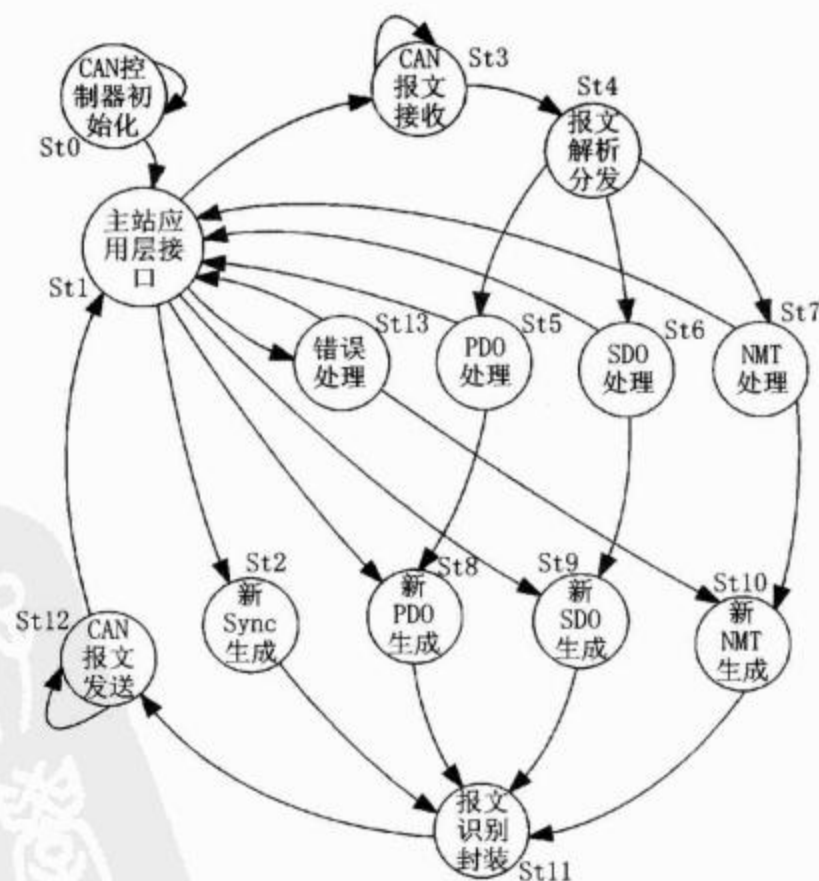


图 4 CANopen 主站状态转移图

Figure 4 State transition diagram of CANopen master

模块是将各个状态产生的报文按照 CANopen 协议进行封装。封装好之后的报文需通过 CAN 报文发送状态模块进行发送。主站应用层接口在接收到错误中断时,便启动错误处理,经过分析之后若需要通过 NMT 报文进行管理的则跳至新 NMT 报文生成状态以产生网络管理报文,若无需响应则直接返回主站应用层芯片接口进行其他处理。

如表 1 和表 2 所示,CAN 报文包括帧起始、仲裁字段、数据段、CRC 校验以及帧结束几大部分组成<sup>[8]</sup>,其中仲裁字段定义了 8 个优先级,每个优先级拥有

220 个 COB-ID,范围从 1 到 1760。CRC 校验是为了确保报文传输的正确性。CANopen 协议则是将自己的数据信息按照协议要求打包放在 CAN 报文的 8 字节数据当中。

## 5 基于 CANopen 协议的数字伺服电机控制

### 5.1 SDO 数据帧

表 1 和表 2 表示出了 CANopen 服务数据信息 (SDO)报文的帧结构形式,SDO 将 8 字节数据段分为请求码、对象和子对象索引以及 4 字节数据,从而进行对象字典数据的读写。

表 1 请求帧(主站-数字伺服)

Table 1 Request frames (master-digital servo)

帧起始	仲裁字段		8 字节数据字段								校验	帧结束
			请求码	对象索引 ( index )		对象子索引 ( sub-index )	数据 ( 4 Byte )					
	COB-ID ( 数字伺服从站 TD )	RTR	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7	CRC	

表 2 响应帧(数字伺服-主站)

Table 2 Response frames (digital servo-master)

帧起始	仲裁字段		8 字节数据字段								校验	帧结束
			响应码	对象索引 ( index )		对象子索引 ( sub-index )	数据( 4 Byte )					
	COB-ID ( CANopen 主站 TD )	RTR	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7	CRC	

### 5.2 数字伺服电机的对象字典

对象字典(Object Dictionary)是 CANopen 协议的核心,它连接了 CANopen 设备的通讯接口和应用部分,对象字典是一个有序的对象组,每个对象采用一个 16 位的索引值来寻址,为了允许访问数据结构中的单

个元素,同时定义了一个 8 位的子索引<sup>[9]</sup>。由于对象字典条目众多,再此以索引号为 1800h(TPDO1 通信参数)的对象字典为例,如表 3 所示,可通过修改相应对象字典中的参数对通信加以配置<sup>[10]</sup>。

表 3 1800h 号对象字典(TPDO1 通信参数)

Table 3 Object dictionary(TPDO1 parameters)

索引	子索引	数据类型	描述	读写类型	缺省值
1800h(TPDO1 通信参数)	00h	-	子索引个数	只读	5
1800h(TPDO1 通信参数)	01h	无符号 32 位	TPDO1 的 COB-ID	读/写	180h + Node-ID
1800h(TPDO1 通信参数)	02h	无符号 8 位	传输类型	读/写	255
1800h(TPDO1 通信参数)	03h	-	保留	-	-
1800h(TPDO1 通信参数)	04h	-	保留	-	-
1800h(TPDO1 通信参数)	05h	无符号 16 位	时间定时器	读/写	0

### 5.3 数字伺服电机对象字典的操作过程举例

如图 5 所示,本研究搭建了一个基于 CANopen 协议的数字伺服电机控制平台,应用层在型号为 Altera

公司 CycloneⅢ系列 EP3C80F484C8 型 FPGA 中建立,编程环境为 Quartus II,采用 VHDL 语言。CAN 控制器采用 MCP2510,CAN 收发器采用 MCP2551。

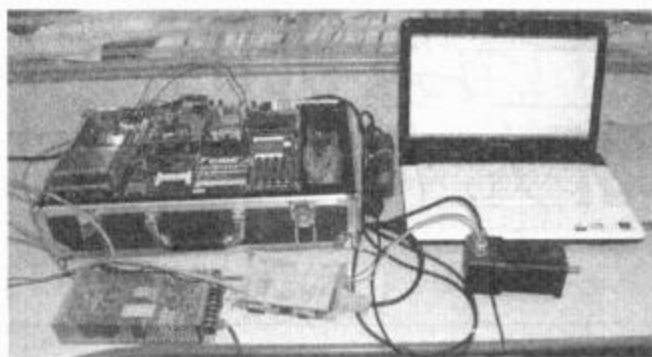


图5 系统实物图

Figure 5 Experiment platform of the systems

程序中建立了发送与接收的数据缓冲区,并在其相应的逻辑状态利用循环语句对数据进行传输操作,FPGA 与 CAN 控制器之间的数据交换是通过 SPI 接口实现的。截取代码如下:

...

```
TX_Buffer: OUT STD_LOGIC_VECTOR ( 63
DOWNT0 0); --定义发送缓冲区
```

```
RX_Buffer: IN STD_LOGIC_VECTOR ( 63
DOWNT0 0); --定义接收缓冲区
```

...

```
L1: FOR I IN 0 TO 63 LOOP --循环,将发送
缓冲区中的数据在 CLK 上升沿发送出去
```

```
IF CLK'EVENT AND CLK = 1 THEN
```

```
SI <= TX_Buffer(I);
```

```
END IF;
```

```
END LOOP [L1];
```

...

图6为截取的一段 Modesim 仿真图,对应程序为上位机访问数字伺服中索引号为 1800h 的对象字典,CLK 时钟周期为 40 ns。

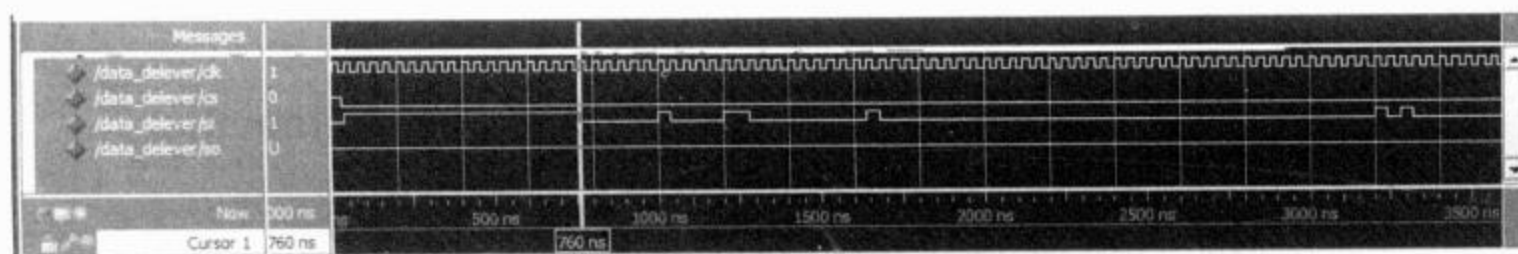


图6 读对象字典波形仿真

Figure 6 Simulation of Reading object dictionary

## 6 结语

利用 CANopen 高层协议实现了 CANopen 主站与数字伺服之间的数据通信,为多轴、高速数控系统数据传输提出了一种解决方案,改变了传统的脉冲控制模式,改用数字伺服系统,对多轴多通道数控机床的研究具有重要的意义。

### 参考文献 (References):

- [1] CAN in Automation. CiA draft stand and 301 V4.02: CANopen application layer and communication profile [S]. Stuttgart: CAN in Automation, 2002.
- [2] 陈在平,王峰. 基于 CANopen 协议从节点研究[J]. 制造业自动化, 2010, 32(2): 28-31.
- [3] 胥布工,程俊,匡付华. 基于 CANopen 协议的电动执行机构设计[J]. 控制工程, 2010, 17(3): 368-369.

- [4] 唐文君,马杰,曾晓丰,等. 基于 FPGA 技术的 KSKS05A 型数控系统[J]. 石油仪器, 2008, 22(5): 20-21, 62-64.
- [5] 张丕状,李兆光. 基于 VHDL 的 CPLD/FPGA 开发与应用[M]. 北京:国防工业出版社, 2009: 30-31.
- [6] 赵艳华,曹丙霞,张睿. 基于 Quartus II 的 FPGA/CPLD 设计与应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2009: 43-44.
- [7] 张丹,胡旭东. 一种基于 FPGA 的并行通讯模块的实现[J]. 机电工程, 2010, 27(5): 86-89.
- [8] 刘磊,李长春,田颖,等. 基于 CANopen 协议的交流测功机控制系统研究[J]. 车用发动机, 2010(3): 23-25.
- [9] 李澄,赵辉,聂保钱. 基于 CANopen 协议实现多电机系统实时控制[J]. 微电机, 2009, 42(9): 54-57.
- [10] Mohammad Farsi, Manuel Bernardo Martins Barbosa. CANopen Implementation: applications to industrial networks [M]. Hertfordshire, England: Research Studies Press Ltd, 2002: 150-152.

# 第5届国际罐藏食品及原辅材料机械设备国际博览会

地点:上海新国际博览中心 2012年5月9-11日 联系电话:010-63381401 林先生