

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.09.018

# 基于 CANopen 通信协议的数控手轮研究

刘正瑞, 洪占勇\*

(合肥工业大学 工业与装备研究院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:**针对数控系统中手轮驱动问题,对手轮驱动的信号采集、信号处理和信号传输等进行了研究。对手轮脉冲漏记、脉冲错计和信号输出不均匀等问题进行了归纳,提出了一种以 STM32 ARM Cortex-M3 内核的单片机为核心且采用 CAN 总线的高层协议 CANopen 协议,并进行了总线通信的手轮驱动方案设计;通过在信号获取端直接数字化处理,实现了脉冲读取、脉冲计数、进给轴选择、步长倍率的选择、方向判断和输出进给信号等功能。研究结果表明:该方案可以实现控制信号的实时和均匀化输出,通过对连续报文中的数据进行比较计算,上位机可以判断出是否存在漏记、漏记进给信号的数量,并可以此为根据采用相应的方式进行补偿,从而提高手轮驱动的精确度和可靠性。

**关键词:**手轮;CANopen;数控系统

**中图分类号:**TH39;TG502.35

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-4551(2018)09-0996-05

## CNC hand-wheel based on CANopen communication protocol

LIU Zheng-rui, HONG Zhan-yong

(Institute of Industry & Equipment Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** Aiming at hand wheel drive in the numerical control, the problems of signal acquisition, signal processing and signal transmission in hand wheel drive was studied, the problems such as pulse missing register, pulse meter wrong and the signal output is not uniform has carried on the induction. A kind of hand wheel driving scheme that take the STM32 ARM cortex-M3 as the core and use CANopen protocol that is high-level protocol of CAN bus to bus communication was proposed. The functions such as pulse reading, pulse counting, the choice of feed shaft, the choice of the step length ratio, feed direction judgment and output signal was implemented at the signal acquisition end. The results indicate that the scheme can realize real-time control signal output and homogenization, through comparing the calculation of the succession of the packet data, host computer can determine whether there is leakage, record the amount of feed signal leakage, and can be used according to the corresponding way to compensate, so as to improve the accuracy and reliability of the hand wheel drive.

**Key words:** handwheel; CANopen; CNC system

## 0 引言

随着数控系统的发展,特别是总线技术的广泛使用,使得数控机床的性能越来越好,结构越来越简单。而手轮作为数控机床的一个重要组成部分,在实现刀具微动、工件对刀、机床原点的修正等方面扮演着十分重要的角色。

但在手轮的使用中,由于操作者的轻微晃动,使得手轮脉冲发生器会产生脉冲,该脉冲的产生会导致机床进行了不必要的移动,该移动轻则导致正在加工的零件报废,重则损坏数控机床,甚至导致操作人员的伤亡。同时,在传统的手轮驱动控制过程中,由于数控系统通过识别“倍率选择”开关的选项,从而判断进给倍率,再结合手轮产生的脉冲数量,通过

收稿日期:2017-11-20

作者简介:刘正瑞(1994-),男,安徽六安人,主要从事仪器智能化和网络化测控技术方面的研究。E-mail:1097004697@qq.com

通信联系人:洪占勇,男,副教授,硕士生导师。E-mail:hongzhan-yong@126.com

简单的乘积的方式得出总脉冲数量,将脉冲总数输出到运动执行部件上去,以此来完成相应得运动控制。而在这个过程中,大倍率的情况下,操作者较快速地转动手摇脉冲发生器时,控制系统在进行脉冲计数的同时,又要输出更大量的脉冲给运动执行部件,因此往往数控系统在这个过程中会出现脉冲漏计或者脉冲输出滞后,以及脉冲输出不能保持均匀化等问题,从而导致在手轮驱动机床运动时,无法满足机床加工的精度和可靠性要求<sup>[1]</sup>。

CANopen 是基于 CAN 总线的一种总线通信协议,是一种行业标准化协议,也是一种为标准的嵌入式网络开发的具有灵活配置能力的开放式协议。

本文基于 CANopen 通信设计一种数控手轮,在手轮端就进行脉冲的计数和倍率的选择等处理,通过 CANopen 报文将运算后的进给量发送给伺服电机控制器等执行部件,从而解决传统模式下,脉冲在传递到控制系统上时计数不准确的问题,并通过 CANopen 通信的方式实现手轮输出进给信号均匀化。

### 1 手摇脉冲发生器的工作原理

手摇脉冲发生器的实质就是一个增量式编码器,在其外部刻有刻度,每格刻度的大小与内部的辐射状透光窄缝圆盘的节距相等。手摇脉冲发生器工作原理如图 1 所示。

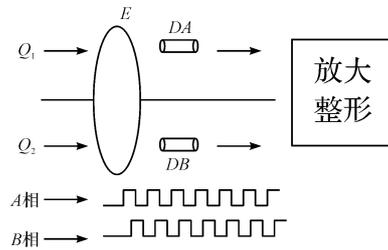


图 1 手摇脉冲发生器工作原理  
E—等节距的透光圆盘;Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>—光源;DA, DB—光电元件,DA 和 DB 在安装时错开 90°

当旋转手轮一个刻度时,透光圆盘和旋转轴同时旋转,这时光线可以分别通过透光圆盘的窄缝打到光电元件 DA 和 DB 上去。使得得到一组相差 90° 相位差的正弦波信号。该正弦波信号可以通过放大器放大整形等方式得到一组相差 90° 的方波。通过判断是 A 项超前于 B 项 90°,手轮为正向转动;A 项滞后于 B 项 90°,手轮为反向转动<sup>[2-4]</sup>。

### 2 CANopen 通信协议

CANopen 协议以通信规范 CiA DS-301 为基础,规定和发展了一系列的子协议。其中,通过子协议定义了对象字典的形式,通信的方式及其特点等,还为特定的设备定义了行为规范<sup>[5]</sup>。

CANopen 通信的过程中需要定义 4 种通信对象类型:服务数据对象 SDO、过程数据对象 PDO、网络管理报文 NMT 和同步报文 SYNC(或者心跳报文 HEART),其功能简要介绍如表 1 所示。

表 1 4 种通信对象

对象类型	通讯方式	功能描述
SDO	CSDO	客户端 SDO 主要用于网络节点的读写请求
服务数据对象	SSDO	服务器 SDO 主要响应 CSDO 请求,直接访问本地对象字典
PDO	TPDO	用来发送节点实时数据
过程数据对象	RPDO	用来接收节点实时数据
NMT(网络管理)	主/从	CANopen 网络中,主站控制从站通信和状态,从站接收主站命令,执行相应动作
特殊功能对象	SYNC	SYNC 生产者周期性发送该报文到 CANopen 网络,同步所有 SYNC 消费者
(同步报文)	生产者/消费者	
HEART	生产者/消费者	上传从站的状态,可以用来监控主站和从站
(心跳报文)		

CANopen 通信过程中所使用的 COB-ID 来标示不同的设备所发出的数据内容,并且要求通信对象的接收者与该报文的发送者必须具有相同的 COB-ID。CANopen 协议最核心的内容是对象字典(OD),对象字典的实质就是一个有序的对象组,该对象组用于描述所对应的 CANopen 节点的各种参数,同时将需要通信的数据所存放的位置也列出来<sup>[6]</sup>。

### 3 手轮的硬件结构图

外置式数控手轮的硬件原理图如图 2 所示。

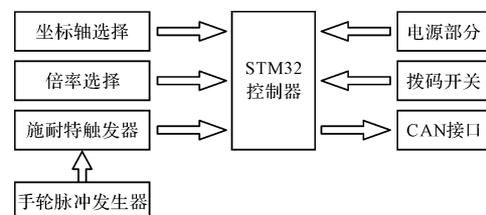


图 2 手轮硬件结构原理框图

其中倍率选择包括 3 种选择分别为： $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 分别与 STM32 的 3 个 I/O 口相连，坐标轴选择包含 5 种选择分别为： $X$  轴、 $Y$  轴、 $Z$  轴、 $W$  轴和  $V$  轴，分别和 STM32 的 5 个 I/O 口相连。脉冲发生器发出的脉冲通过施耐特触发器整形后，与 STM32 的 2 个 I/O 口相连。STM32 通过内部程序将倍率选择、坐标轴选择和脉冲信号等信号进行数据处理，然后通过 CAN 通信接口以 CANopen 报文的方式发送给运动执行部件。

## 4 软件设计

### 4.1 脉冲鉴相和计数

本研究用软件对手摇脉冲发生器发出的脉冲进行鉴相和计数时，将手摇脉冲发生器发出的  $A$ 、 $B$  相经过施耐特触发器进行整形后，接入到两个 I/O 口，即  $A$  端口和  $B$  端口。然后通过读取这两个端口的信息进行脉冲信号的获取。其具体实现思路如下：

(1) 使能  $B$  端口的外部中断通道，当  $B$  端口有上升沿信号时，触发该外部中断的服务程序；

(2) 接着检测  $A$  端口的电平情况，当  $A$  端口为高电平时，说明这时  $A$  相超前于  $B$  相，即表明手轮正传，这时将正传标志参数赋值 1；当  $A$  端口为低电平时，说明这时  $A$  相滞后于  $B$  相，给表明手轮反转，这时将反转标志参数赋值 -1；

(3) 接着检测倍率选择端口，为高电平即为选中轴，将选择轴所对应的倍率  $M$  和正反转标志位相乘，得到总脉冲量，当数控机床处于手动操作状态时，将这个总脉冲量累加到累加器上去，即： $S(\text{新}) = S(\text{原}) + \text{正传标志参数}(\text{或者反转标志参数}) \times M$ 。例如当倍率选择为  $\times 10$  时，手轮正传，则累加器  $S$  的值就增加了  $1 \times 10$ ；当手轮反转时，累计器  $S$  的值就减少了  $1 \times 10$ 。

(4) 当检测到累加器  $S$  不为 0 时，说明手轮有脉冲信号需要发出，这时通过 CAN 口发送一个 CANopen 报文给运动执行部件，并且每发送一个报文就对累加器  $S$  进行加 1 或减 1。

### 4.2 CANopen 通信

CANopen 通信的整体流程如图 3 所示。

(1) 硬件初始化。硬件初始化主要是定时器、CAN 接口和串口的初始化。为了防止受到干扰，应当关闭所有的中断再进行初始化，然后通过函数  $TgtInitTimer()$ 、 $TgtInitCanIsr()$  和  $TgtInitSerial()$  进行初始化，初始化完成后，要及时地使能已经关闭的所有中断。

(2) CANopen 协议栈初始化。在执行  $CcmInitCanopen()$  函数进行 CANopen 协议栈的初始化的过程中，

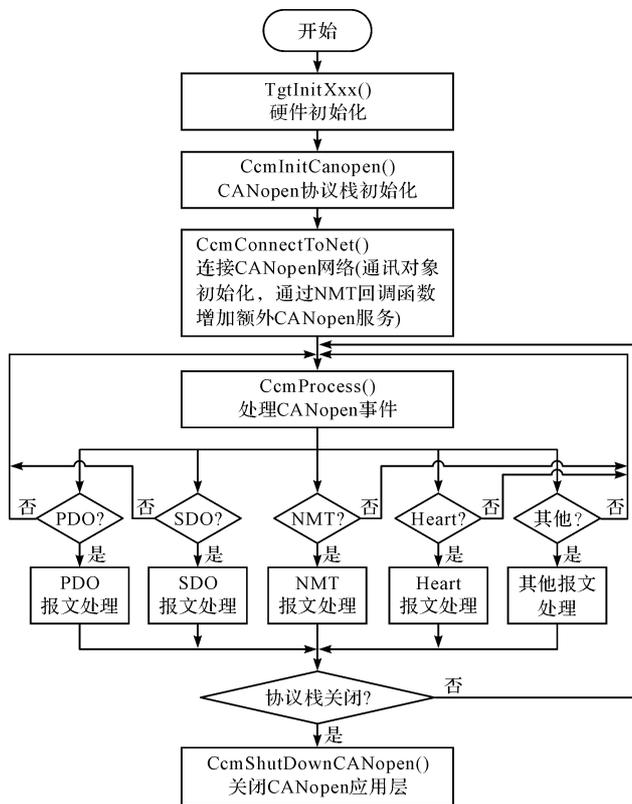


图 3 CANopen 通信的整体流程

主要进行了通过识别拨码开关的选择，确定 node-ID 和对照预先设定的波特率表格设置波特率。

$CcmInitCanopen()$  通过调用  $TgtGetCanBase()$  将 CAN 控制器的基地址输入进结构中，定义了回调函数 ( $AppCbNmtEvent()$ ) 用于处理 NMT 状态机的状态变化。通过  $ObdInitRam()$  进行 OD 中的内部数据结构初始化<sup>[7]</sup>。

(3) 处理 CANopen 事件。对于数控手轮，在正常工作过程中上电完成以后，其通信数据主要是通过 PDO 传输给运动控制器，通过接受控制面板发送的带有控制信号(手动模式还是机动模式)的 SDO 来确定是否发送带有进给信号的 PDO。

SDO 即服务数据对象，是一种用来建立两个 CANopen 设备之间的客户端/服务器关系的。在一个 CANopen 网络中，主节点可以通过 SDO 对其他节点进行参数配置。PDO 即过程数据对象，具有很高的优先级，因此被用来传输实时短帧数据。使用 PDO 传输数据时，每一个报文中的数据必须少于或等于 8 个字节。PDO 的触发模式可以分为 3 种：事件驱动、定时驱动和远程请求驱动。在手轮驱动中，为保证驱动的实时性应当选择事件驱动。基于事件驱动的 PDO 传输类型可以分为两种，一种是同步传输，另一种是异步传输。异步传输即当满足触发条件以后，CANopen 节点

立刻向 CAN 总线上发送 PDO 报文。因此手轮的 PDO 传输选用事件异步驱动模式。

PDO 报文包含正反转信息和坐标轴选择信息;当 S 小于 0 时,发送带有反转信息的 PDO 报文,并且每发送一个 PDO 报文,就使得 S 增加 1,当 S 大于 0 时,每发送一个 PDO 报文,就使得 S 减少 1<sup>[8-9]</sup>。

由于手轮驱动时总线几乎没有其他通信需求,这时可以通过将 PDO 发送时间间隔设置为 0,来实现 PDO 报文的实时均匀发送,即当发送完一个报文后,当累加器仍然表示还有进给信息需要发送时立即发送下一个报文。

### 5 实验及结果分析

实验测试实物图如图 4 所示。

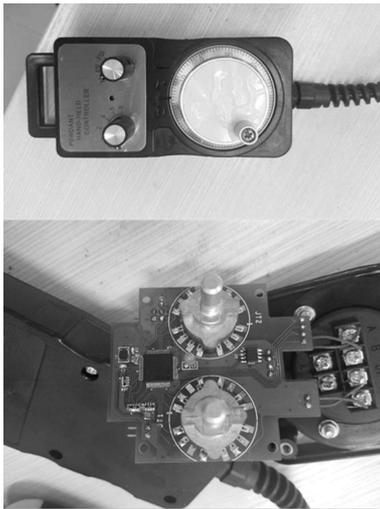


图 4 实物图

安装好外壳后,可以通过两个旋钮开关和手摇脉冲发生器进行操作。实验所获得的测试结果图如图 5 所示。

测试结果中,包含 CANopen 通信数据和串口通信数据。结合 CANopen 通信数据和串口通信数据可以看出,将手轮与 PC 机相连后,开始实验,这时 CAN 接口和串口均收到通信数据,这时表示 CANopen 手轮完成初始化并且 CANopen 通信正常,串口打印正常。

这时转动手摇脉冲发生器可以看出串口有打印,但是 CAN 接口无 CANopen 报文发送。这表明手轮能够正确进行脉冲鉴相和计数,但不能进行 CANopen 通信,即手轮未能收到上位机指令(数控机床的手动操作指令)。

通过 PC 机给手轮发送一个 CANopen 报文(模拟数控机床的手动操作指令)后,通过比较可以看出 CAN 接口有 CANopen 报文发送,串口有数据打印,这

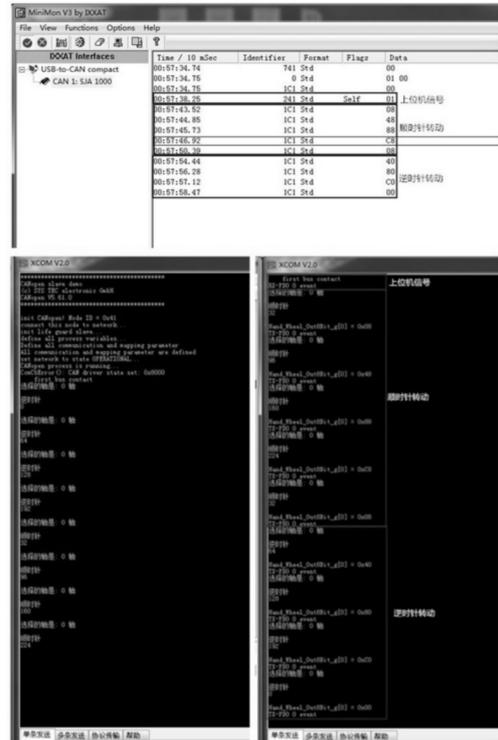


图 5 通信测试图

表示手轮能够进行正常的 CANopen 通信。

正常通信后,CAN 接口不断发送 2 位的 16 进制的数。当坐标轴选择和倍率选择不,转动方向不变时,这 2 位 16 进制的数中第一位数据总是保持不变,而第二位数据总是变化的。这是因为每个 PDO 包含一个 8 位数据,在实验的过程中为读取方便,显示为 2 位 16 进制的数。PDO 报文数据结构如图 6 所示。

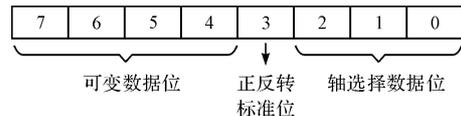


图 6 CANopen 报文组成

这个数据中,第 0~2 位用来表示对 5 个坐标轴的选择结果,第 3 位用来表示正反转。当单向转动手轮时系统通过检测倍率选择端口的值,计算出进给量并将这个值累加到累加器 S 上。在本研究中设置的 CANopen 的 PDO 报文的发送是由于事件(报文的数据内容变化了)触发的,当累加器的值不为 0 时,表明有进给信息需要发送,这时通过改变第 4~7 位的数据(该实验中为了方便显示,只通过将第 6,7 两位逐次加 1,第 4,5 两位保持不变),再与第 0~3 位不变的数据结合在一起,组成了一个 8 位的数据,该数据即为 PDO 的报文数据,该报文数据的变化从而触发了 PDO 的传输。这时通过上位机软件可以读取到总线上的数据,再以 16 进制的方式显示,即可得到一个 2 位的 16

进制数。由图 6 可知当手轮收到上位机的模拟手动操作指令后,转动手轮,上位机陆续收到数据  $0 \times 08 \rightarrow 0 \times 48 \rightarrow 0 \times 88 \rightarrow 0 \times C8 \rightarrow 0 \times 08$ ,将数据化 2 进制可以看出,第 0~3 位的数据没有变化,第 7、8 位逐次加 1。反向转动手轮后,上位机收到数据  $0 \times 40 \rightarrow 0 \times 80 \rightarrow 0 \times C0 \rightarrow 0 \times 00$ ,这时化为二进制可知第 3 位数值变为 0 然后保持不变。

上位机在整个过程接收到的数据流是: $0 \times 08 \rightarrow 0 \times 48 \rightarrow 0 \times 88 \rightarrow 0 \times C8 \rightarrow 0 \times 08 \rightarrow 0 \times 40 \rightarrow 0 \times 80 \rightarrow 0 \times C0 \rightarrow 0 \times 00$ ,只看第 2 位数据可以看出:数据流为  $0 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow C \rightarrow 0 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow C \rightarrow 0$ ,即数据在  $0 > 4 > 8 > C$  中循环。在应用的过程中,只需要将收到的数据和上一次收到数据进行比较即可知道是否有进给信号遗漏。本研究为了显示的方便只将第 6、7 位逐次加 1,实际应用的过程中可以将 4~7 位逐次加 1,这时通过将上位机收到本次的数据和上次收到的数据相减即可得出漏计的进给信号的个数,通过其他方式进行纠正补偿,即可得到精确的进给信号量。

而当累加器不为 0 时,即可通过改变 PDO 报文内容从而触发,则 PDO 报文的发送间隔即为软件处理数据的时间间隔,由于软件处理数据的非常的快,而且时间间隔基本相同,这时上位机即可得到较为均匀的进给信号报文,从而匀速地驱动电机转动。

## 6 结束语

针对数控系统中手轮驱动问题,本文对手轮驱动的信号采集、信号处理和信号传输等问题进行了研究,提出了一种采用 CAN 总线的高层协议 CANopen 协议,并进行了方案设计。通过实验结果可知:基于 CANopen 通信的数字化数控手轮能够很好地进行判向、计数和发送进给信息,将其应用于数控系统中是可行的。该方案与传统手轮驱动相比有很大优势:

(1) 基于 CANopen 通信的数控手轮驱动方式,在

手轮端进行数据处理降低了脉冲信号漏记的可能性;上位机通过连续两个报文之间的数据关系可以判断是否出现报文漏记,并通过简单的计算即可得到漏记报文的数量,从而通过相应的方式进行补偿;

(2) 传统驱动的过程中,倍率选择较大,摇动速度又不快时,脉冲当量较大,频率较低,容易造成驱动脉冲不均匀,呈现波动状态<sup>[10]</sup>。而基于 CANopen 通信的数控手轮驱动方式,将脉冲信号和倍率选择信号处理以后,以报文的方式发送给上位机,每一个报文的进给量都是一样的,报文间隔基本一致,从而实现了步进电机的均匀化驱动。

随着现场总线技术在数控系统中应用的深入,该种方案将会成为手轮驱动的一种可行的选择。

## 参考文献 (References):

- [1] 范 剑,徐建军,李 军. 基于 AT89S52 实现手摇脉冲发生器脉冲输出控制[J]. 机电技术,2012,24(2):243-37.
- [2] 孙福清,何 凯,王治森. 手摇脉冲发生器鉴相及脉冲计数的软件实现[J]. 制造业自动化,2001,23(10):54-56
- [3] 李 芳. 嵌入式数控系统中手摇脉冲发生器模块的实现[J]. 科学技术与工程,2010,10(12):2963-2964.
- [4] 许 伍,郎 朗,李腾飞. 基于 FPGA 的手摇脉冲发生器模块的实现[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2013,30(10):70-72.
- [5] 高 嵩. 基于 CANopen 协议的伺服控制器应用[J]. 电子机械工程,2009,12(6):18-21
- [6] 孔 峰,张 衡,宋雪桦,等. 基于 CANopen 协议的汽车控制网络初探[J]. 汽车工程,2007(7):594-596
- [7] CIA Draft standard 301, Version 4.02. CANopen application layer and communication profile[S]. US: CiA,2002-2-13.
- [8] 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):27-30.
- [9] 周立功. 现场总线 CANopen 设计与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2011.
- [10] 赵海军,叶佩青. 手轮脉冲驱动均匀化控制[J]. 机床与液压,2003,31(1):117-118

[编辑:李 辉]

### 本文引用格式:

刘正瑞,洪占勇. 基于 CANopen 通信协议的数控手轮研究[J]. 机电工程,2018,35(9):996-1000.

LIU Zheng-ru, HONG Zhan-yong. CNC hand-wheel based on CANopen communication protocol[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2018,35(9):996-1000.

《机电工程》杂志;http://www.meem.com.cn