

基于 TMS320F28335 的步进电机控制模块设计

刘雪超, 吴志勇

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林长春 130033)

摘要: 分析步进电机工作及细分基本原理, 设计了采用双 H 桥式驱动与 TMS320F28335 高性能浮点运算控制芯片相结合的步进电机控制模块。调节 PWM 波占空比, 软件实现步进电机的细分控制。利用光栅尺采集位置信息, 构成反馈闭环校正位移。给出具体控制流程, 并通过实际调试给出调试结果。

关键词: 步进电机; 细分; 光栅尺; 反馈闭环

中图分类号: TP271 文献标识码: A 文章编号: 1002-1841(2011)10-0078-02

Design of Stepper Motor Control Module Based on TMS320F28335

LIU Xue-chao, WU Zhi-yong

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: This paper analyzed the fundamental of stepper motor and its subdivision, it designed a stepper motor control module used double H drivers and TMS320F28335 which is floating point operation chip with high capability. By adjusting duty cycle, it used software to achieve subdivision for stepper motor. It utilized raster ruler to collect location information and to form feedback closed-loop which can correct offset. The paper presented program flow charts in detail and showed the results through debugging.

Key words: stepper motor; subdivision; raster ruler; feedback closed-loop

0 引言

机械制造和电子技术领域的发展在广泛应用现代控制技术的同时也促进其实现更高的性能。由控制芯片与驱动元件相结合的伺服控制系统具有良好的随动性, 能够实现精准控制, 在现代控制领域中具有不可替代的作用^[1]。

步进电机依靠电磁原理将输入的脉冲信号转换成增量运动形式输出实现定位。电机内部主要由装有磁极的转子和绕有线圈的定子组成, 通电情况下转子在定子产生的磁场作用下旋转运动, 通过控制电流的大小及各绕组通电次序决定电机的前进或后退的距离及运动速度。由于步进电机具有离散运动的特点即使在开环控制下也能实现较精确定位^[2]。

自第一款单片 DSP 诞生以来, 其作为数字信号处理单元以卓越的优势成为计算机、通信和控制等领域的重要器件。他采用改进的哈佛结构进行流水线作业, 利用独立的 DMA 控制逻辑保障高速数据处理。同时片上集成了 Flash 存储器、A/D 转换、事件管理器 EV、SPI 和 SCI 接口及 CAN 总线等。DSP 不仅使控制器兼具有高性能, 其精度高、速度快、强大的控制和信号处理能力, 更有利于实现复杂的控制算法。该设计采用的 TMS320F28335 具有更多的 MAC 单元和 32 位的浮点运算功能, 扩大了动态范围, 进一步增强了数学运算能力^[2]。

1 系统总体设计

设计了在地面条件下对带有负载的步进电机控制, 同时与光栅尺相结合构成反馈闭环控制系统。系统总体方案如图 1 所示。

控制芯片采用 TMS320F28335, 其浮点运算能力, 有利于细

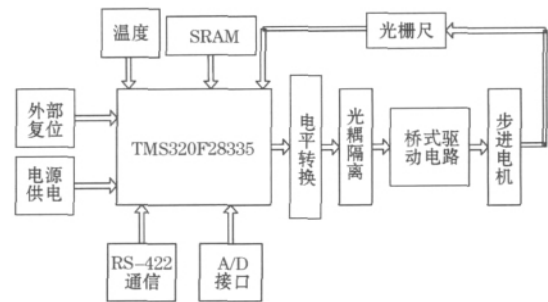


图 1 系统总体框图

分控制的实现。系统外接 5V 电源, 经 TPS767D301 芯片转换为 3.3 V 工作电源和 1.9 V 内核电源; 通过 MAX3491 收发差分信号, 与上位机实现 RS-422 通信; 电平转换模块采用 SN74LVC4245 将控制信号由 3.3 V 转换成 5 V, 再经高速光耦 TCPL-4504 的隔离送入后续驱动电路; 选用 L298 芯片构成的双 H 桥式电路驱动步进电机的两相绕组, 实现细分控制; 选用某型号步进电机, 其位移分辨率为 0.0127 mm/步, 步距角为 1.8°, 为进一步确保精确定位的要求, 通过光栅尺构成反馈闭环进行校正; 光栅尺采集步进电机的位置信息, 并送回主控单元与控制信号相比较, 实现误差校正; A/D 扩展接口利用了 TMS320F28335 本身的 A/D 转换功能实现模拟量到数字量的转换; 同时扩展出温度采集部分, 采用 DS18B20 温度传感器, 采集外界温度信息, 其测量结果能以数字量形式通过“一总线”方式输出, 满足了实际工程中受温度变化改变控制方式的需求, 增强了系统控制的灵活性。

2 光栅尺位置测量

光栅尺作为一种高精度测量位移元件在自动控制领域扮演重要角色。衡量光栅尺性能的重要参数为栅距 τ , 大小直接

反映光栅尺测量过程中的分辨率, 并与其成反比例关系。在要求高精度加工和测量的反馈控制系统中较编码器和电位计具有更好的性能。

2.1 光栅尺工作原理

当步进电机旋转带动安装在一起的光栅尺沿丝杠移动时光栅尺产生出黑白相间的莫尔条纹, 进一步通过光电转换作用输出相位依次为 0° 、 90° 、 180° 、 270° 的 4 路正弦信号, 经由 LF147D 和 LM2901MX 组成的集成运放比较电路后输出两路相位相差 90° 的数字方波信号 A 相和 B 相信号。捕获两组信号的边沿变化情况并计数即可得出相对位移量和移动方向^[3]。如图 2 所示。

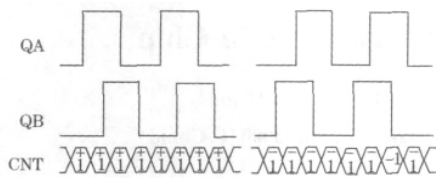


图 2 测量时序

2.2 测量方法

对 A 相和 B 相信号的边沿变化计数, 因光栅尺产生的四路信号具有 90° 的相位差, 对栅距 τ 进一步 4 倍细分, 使测量精度达 $\tau/4$ 。采用 DSP 中的事件管理器 QEPA 和 QEPB 对脉冲信号采样。按图 2 中方向, 设 A 相超前 B 相 90° 时为前进, 进行增计数, 方向信号 QDIR 置高电平; 反之, 当 B 相超前 A 相 90° 时为后退, 并进行减计数, QDIR 置低电平。

基于对光栅尺输出的两相信号的捕获功能, 内部寄存器记录下边沿变化产生的次数和变化方向实现相对位移的测量。

$$L' = N \times \tau/4 \quad (1)$$

式中: N 为移动过程中记录的脉冲个数; $\tau/4$ 为栅距经细分后每次边沿变化相对应的移动距离; L' 为测得的相对位移量。

3 步进电机细分控制

3.1 步进电机细分原理

步进电机细分原理根据两相步进电机的特点, 对其内部两组绕组线圈通电, 控制励磁电流的矢量合成, 转子在一定磁场作用下旋转实现电机步进运动^[4-5]。以第 I 象限为例如图 3 所示, 分别给绕组 A 相和 B 相通电, 产生 \vec{I}_A 和 \vec{I}_B 相电流, $|\vec{I}_A| = |\vec{I}_B|$ 。如果同时给 A、B 相通以电流 $\vec{I}_a = \sin(45^\circ) \vec{I}_A$ 和 $\vec{I}_b = \cos(45^\circ) \vec{I}_B$, 依据矢量合成原理, 合成电流 \vec{I}_1 , $|\vec{I}_1| = |\vec{I}_A| = |\vec{I}_B|$, $\angle\theta = 45^\circ$ 实现了半步运动。同理如图 3, 在控制两相电流值保证转矩恒定情况下, 进一步细分出 $\angle\theta_2 = 22.5^\circ$ 和 $\angle\theta_3 = 11.25^\circ$, 改变步距角大小实现对整步的 $1/4$ 和 $1/8$ 细分。

可见, 细分步距角 θ 与电流 \vec{I}_a 和 \vec{I}_b 成相位相差 90° 的正、余弦关系 $\vec{I}_a = \sin(\theta) \vec{I}_A$ 和 $\vec{I}_b = \cos(\theta) \vec{I}_B$ 。其余三象限同理, 通过控制 A、A-、B、B- 相的通电次序和电流值实现电机的连续细分步进。

3.2 步进电机细分方法

采用 L298 芯片构建双 H 桥式驱动电路, 软件调节四路

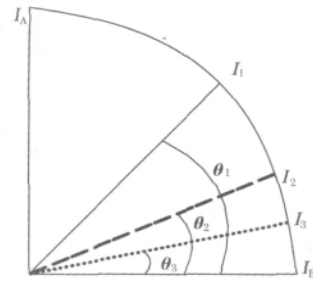


图 3 电流合成原理

PWM 波占空比作为输入信号, 控制 I、II、III、IV 象限的电流矢量合成实现细分。为便于分析, 先忽略电机内部绕组、电感等非线性因素的影响, 建立 I 与 PWM 波的线性关系

$$U = qU_{MAX} = IR \quad (2)$$

式中 q 为占空比。

用正、余弦函数建立占空比关系需要一定运算量并占用较多时间, 因此建立细分关系表按查表的方式调节 q 值, 按式(3)调节占空比。

$$q = \sin(k \cdot 90^\circ/N) \quad (3)$$

式中: N 为步进电机分辨率; k 为在某细分下的步值。

按拟合的阶梯型正、余弦变化改变 U , 再考虑到电机的实际非线性的特点, 在带负载情况下对电流的细分结果进行微调, 最终建立占空比与细分的关系, 实现较理想步进电机细分。

3.3 实际细分结果

由实际电路调试建立了 $1/8$ 细分下第 I 象限的占空比关系如表 1, k 为步值, 选 PWM 波分辨率为 256, A、B 为相对于分辨率的脉冲持续时间, 占空比 $qA = A_k/255$, $qB = Bk/255$ 。

表 1 细分关系

第 I 象限					
k	A	B	k	A	B
0	255	0	5	141	213
1	250	50	6	96	238
2	238	96	7	50	250
3	211	141	8	0	255
4	180	178			

依据建立的占空比实际测量 \vec{I}_a 和 \vec{I}_b 电流值。输出如图 4 所示, 为明显的阶梯型拟合正、余弦波。

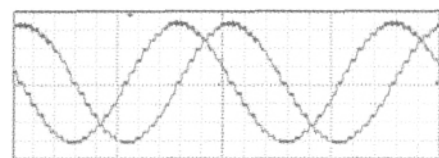


图 4 实测电流值

4 软件设计

在硬件平台的基础上, 进行软件编程, 实现对步进电机的控制。所选步进电机位移分辨率为 0.0127 mm/步 , 步距角为 1.8° 为进一步确保精确定位的要求, 通过光栅尺构成反馈闭环进行校正。软件控制流程如图 5、图 6。建立 $1/8$ 和 $1/16$ 细分表, 对系统端口, 寄存器进行初始化后, 根据上(下转第 92 页)

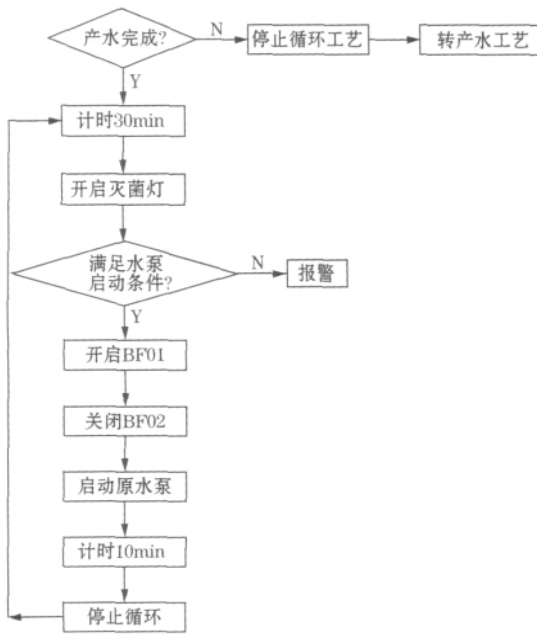


图4 原水循环系统控制流程图

4 结束语

该系统完成设计要求,且具有以下特点:

(1) 采用自动、键控、手控3种方式并存,保障生产的可靠性、连续性。(能自动对每个设备进行故障检测,当有故障时报警进行开关的切换)

(2) 较传统的纯水生产,增加3个自循环控制系统,保证需求量小时无“死水”,减少二次污染;需求量大时,供水及时,更能保证水质和生产需求。

(3) 抗干扰措施两手同时抓:硬件设计中增加传感器检测的延时,以防抖动产生误动作,在电源部分还加了隔离变压器、滤波器、熔断保护器等;对每个模块的编程进行实时PLC在线仿真测试,保证程序的可靠性。

(4) 为方便现场控制,还为系统设计了组态控制平台,实时监控整个过程及数据保存处理,由于篇幅有限,没作叙述。

参考文献:

[1] 徐世许. 可编程序控制器原理应用网络. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000.
 [2] 周建民, 周其显, 徐冬冬. 基于PLC、HMI和伺服技术的粉剂剂分装控制系统. 仪表技术与传感器, 2010(2): 103.
 [3] 马明, 陈海峰. 基于PLC的真空挤砖机进料湿度PID控制系统. 仪表技术与传感器, 2010(8): 105.

作者简介: 程军(1969—), 硕士, 主要研究方向自动化检测。

(上接第79页) 位机命令确定运动方向和步进数计算 k 值。

$$|L| = k \cdot \Delta + e \quad \rho < \Delta$$

式中: L 为接收的上位机位移量; Δ 为当前细分下脉冲当量。

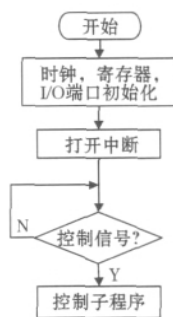


图5 主程序流程

按照查表的方式调节 PWM 波的占空比 q , 输出拟合正弦弦细分电流。在电机运行 k 步后, 采集光栅尺送来的实际电机位移距离 L' , 判断误差是否在脉冲当量 Δ 内。当由于客观非线性因素导致 $|L - L'| > \Delta$ 时, 使电机工作在 1/16 细分模式下, 再次计算方向和 k 值, 单步运行实时检测位置信息, 累加单步位移量 e' , 直到误差小于或等于脉冲当量。

5 结束语

为保证精确定位, 直接采集位置信息作为校准量, 建立 PWM 波与位置关系, 省略了对于电机的复杂数学模型的建立和分析; 采用具有浮点运算的 TMS320F28335 避免了 Q 格式的转换, 同时采用查表的方式实时调节 PWM 占空比, 具有硬件电路简单, 软件实现容易的特点。经过实际调试, 步进电机在 1/2、1/4、1/8 细分下运行平稳良好, 系统稳定可靠, 无明显振荡, 噪声较低, 基本能够实现脉冲当量下的精准定位。

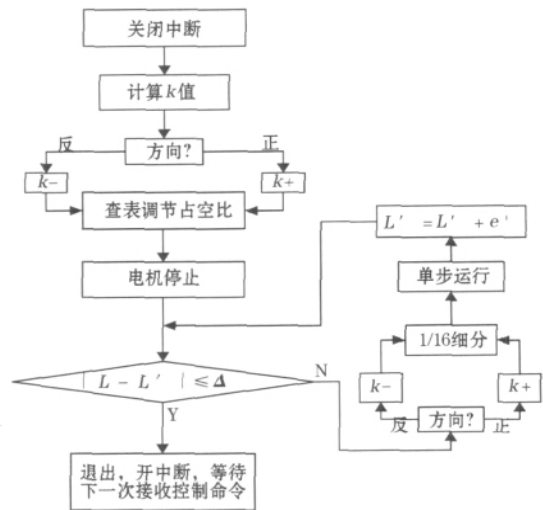


图6 子程序流程

参考文献:

[1] 张宝发, 赵辉, 岳有军. 基于 DSP 的步进电机控制系统设计. 仪表技术与传感器, 2010(8): 63 - 65; 81.
 [2] 苏奎峰. TMS320X281XDSP 应用系统设计. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
 [3] 刘红丽, 崔建明, 曹春岩. 光栅尺在永磁直线同步电动机测速测位移中的应用. 电气技术, 2009(12): 26 - 28; 40.
 [4] 崔丽, 叶叶明. 基于 AVR 单片机的直流无刷电机智能控制系统设计. 仪表技术与传感器, 2009(11): 34 - 36.
 [5] 周忠辉. 步进电机驱动的实现方法. 仪表技术与传感器, 2004(11): 61 - 62.

作者简介: 刘雪超(1985—), 硕士研究生, 研究领域为电子信息技

E-mail: chaochao27819@126.com