

文章编号:1006-2467(2002)08-1169-04

基于普通编码器的高精度测速方法

宋 刚, 秦月霞, 张 凯, 胡德金

(上海交通大学 制造技术及自动化研究所, 上海 200030)

摘 要: 根据普通增量式光电编码器的测速原理, 分析了引起量化误差和编码器脉宽误差的各种因素, 在此基础上提出了新的信号处理算法——恒基准脉冲数法, 以减小量化误差. 同时将标定出的编码器脉宽系数作为脉宽误差补偿的参数, 消除了利用恒基准脉冲数法测量转速时脉宽误差造成的影响, 提高了系统的测量精度.

关键词: 增量式编码器; 测速精度; 量化误差; 脉宽误差; 恒基准脉冲数法

中图分类号: TH 862 **文献标识码:** A

Approach and Realization to Improve the Measuring Accuracy with Low Resolution Encoder

SONG Gang, QIN Yue-xia, ZHANG Kai, HU De-jin

(Inst. of Mechanical Manufacturing Technology & Automation, Shanghai Jiaotong Univ., Shanghai 200030, China)

Abstract: By means of the principle of measuring velocity of incremental encoder, this paper analyzed many factors which cause the measuring error and the width error of pulse. Based on it, the paper proposed a new way of signal processing——method of constant benchmark pulses to lower the measuring error. At the same time, the width coefficient of the pulse was demarcated and used to compensate the width error. Finally, the measuring accuracy with low-resolution encoder was improved.

Key words: incremental encoder; accuracy of measuring velocity; error of measure; width error of pulse; method of constant benchmark pulses

光电脉冲编码器是一种数字式角度传感器, 它可将角位移量转换为与之对应的电脉冲进行输出, 主要用于机械转角位置和旋转速度的检测与控制. 光电编码器主要有绝对式编码器和增量式编码器两种类型, 前者是一种直接编码的检测元件, 可直接把被测转角或位移转换成相应的代码, 指示其绝对位置; 后者作为速度、位置传感器应用于数字测量系统, 本身并不能直接输出速度值, 而要通过测量系统

对编码器输出信号进行计算、处理之后才能得出相应的速度值^[1].

采用编码器进行速度检测常用的方法有测 M 法和测 T 法, 测 M 法通常应用于定时采样中, 测 T 法在定步采样中使用较多. 在转速较低时, 测 T 法的分辨率较高, 测 M 法的分辨率较低; 转速较高时, 则反之. 本文将两种采样方法相结合, 提出恒基准脉冲数法进行速度检测. 该方法在基频脉冲信号频率一定的前提下, 依据输出脉冲的频率变化不断调整采样周期, 使基准脉冲数不因输出脉冲频率的增加而降低. 由于分辨率不受转速影响, 因此可获得较高的测量精度.

收稿日期: 2001-07-20

作者简介: 宋 刚(1970-), 男, 甘肃兰州市人, 博士生, 主要从事
自动化设备、在线检测技术和仪器方面的研究.

1 速度检测基本原理^[1]

利用测 T 法进行速度检测的原理是以一个高频信号作为基准,在一个采样周期 T 内分别对脉冲编码器发出的脉冲信号和基准脉冲信号进行采样计数,设该周期内编码器脉冲数的理论值为 M ,基准脉冲数为 N ,则有

$$T = \frac{N}{f_1} = \frac{M}{f_2} = \frac{60M}{KZn_0} \quad (1)$$

式中: n_0 为编码器计算转速(r/min); Z 为编码器每圈发出的脉冲数; K 为脉冲信号的倍频数; f_1 为基准脉冲频率; f_2 为编码器输出脉冲频率.由式(1)可得

$$n_0 = \frac{60f_1}{KZ} \frac{M}{N} \quad (2)$$

2 恒基准脉冲数法的转速测量及精度分析

2.1 转速测量与测量精度

恒基准脉冲数法的实质是依据瞬时转速的大小改变采样周期的长短进行测量,保证一次采样所获取的基准脉冲数是一个近似的常数.但最短采样周期不能小于编码器瞬时输出脉冲的周期,故采样周期最小单位是编码器输出一个脉冲时的时间.设当前的采样宽度内编码器实际输出脉冲数为 m ,根据式(2)可得实际转速

$$n = 60f_1 m / (KZN) \quad (3)$$

改变 m 的值可使 N 近似为一个常数.因此量化误差为

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{|\Delta n|}{n} = \\ & \left| \frac{60f_1 m}{KZN} - \frac{60f_1 m}{KZ(N \pm 1)} \right| \Bigg/ \frac{60f_1 m}{KZN} = \\ & \frac{1}{N \pm 1} \approx \frac{1}{N} \end{aligned} \quad (4)$$

2.2 采样脉宽的确定

依据式(4),为保证测量系统的测速精度最高,一次采样获取的 N 应尽可能最大,但不能使计数器溢出,因此 m 的大小要依据系统硬件结构来确定.采用 $f_1 = 20$ MHz、有效位数为 14 位的计数器,90BF3/1.5 型、 $KZ = 1000$ 的光电脉冲编码器.为尽可能减小量化误差,同时又保证采样周期不超过一定的宽度值以使计数器不溢出.计数器在一次采样中获取的脉冲数应接近 2^{14} ,即 $N \approx 16384$.根据式(3),利用本系统测量不同转速时,为保证计数器不溢出,在一次采样中允许获取的编码器输出脉冲数 m 的最大值为

$$m_{\max} = \frac{1000 \times 16384 n_0}{60f_1} \quad (5)$$

表面上恒基准脉冲数法与普通测 T 法的测速原理及量化误差的计算没有区别,实际上普通测 T 法的采样周期总是编码器的一个输出脉冲周期,一次采样获取的 N 值总是一个输出脉冲中包含的基准脉冲个数,随着转速提高,输出频率成正比增加,采样周期就会变短,此时 N 值将变小,依据式(4)计算的量化误差将增加.恒基准脉冲数法则保证在一次采样中获取的 N 值接近常数,不随转速的变化而变化,因为随着转速的增加,采样周期也增加.在低转速区恒基准脉冲数法和普通测 T 法一样是一个编码器输出脉冲周期,而在高转速区,前者的采样周期是后者的 m 倍,这样就保证一次采样中获取的 N 值尽可能不变,其量化误差也不变.

对于使用恒基准脉冲数法的测量系统来说,为了保证在一次采样中得到一个完整的编码器输出脉冲,存在测量最低转速的限制^[2].因此在保证计数器不溢出的同时还要保证采样频率小于编码器输出脉冲频率.根据式(5),本系统所能测量的最低转速为 73.2 r/min.另一方面, m 值不宜频繁变更,以减少系统硬件的负担.如表 1 所示.

表 1 各速度段对应的采样周期 (mT)

Tab. 1 The period of pulses for sampling under various rotating velocity

$n / (\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	80~160	160~320	320~500	500~720	720~900	900~1120	>1120
m	1	2	4	6	8	12	14

2.3 脉宽误差对速度检测精度的影响

脉宽误差对用恒基准脉冲数法进行速度检测产生的影响,可以从其测速原理进行分析.恒基准脉冲数法通过检测采样周期内的 m 值来计算速度值:

万方数据

$$\begin{aligned} n &= \frac{60\omega}{2\pi} = \\ & \frac{60}{2\pi} \left(m\beta \pm \sum_{i=1}^m \Delta\beta_i \right) \Bigg/ \left(T_b \sum_{i=1}^m N_i \right) = \\ & n_0 \pm \Delta n \end{aligned} \quad (6)$$

式中: β 为平均脉宽; T_b 为基准脉冲周期; N_i 为第 i

个输出脉冲内包含的基准脉冲数; Δn 为计算转速与实际转速的差值:

$$\Delta n = \frac{60}{2\pi} \sum_{i=1}^m \Delta\beta_i / \left(T_b \sum_{i=1}^m N_i \right)$$

用恒基准脉冲数法计算出的由脉宽误差造成的速度检测相对误差^[3]为

$$\epsilon_w = \frac{\Delta n}{n_0} = \sum_{i=1}^m \Delta\beta_i / (m\beta) \quad (7)$$

测量转速时总的测量误差为

$$\epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_w = \frac{1}{N} + \sum_{i=1}^m \Delta\beta_i / (m\beta) \quad (8)$$

3 提高检测精度的方法

采用恒基准脉冲数的新方法,与传统的测 T 法和测 M 法^[4]相比,提高了一次采样中的基准脉冲数,降低了量化误差.但由于低分辨率编码器脉宽误差比较大,其检测精度不能满足要求.采用脉宽补偿的方法可以消除这一误差的影响.

3.1 脉宽误差补偿法

设光电脉冲编码器每转输出 Z 个脉冲,那么各脉冲的宽度可表示成一数列, $W = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_Z)$, 假定测量转速不变,根据等比特性

$$n = \frac{60}{2\pi} \sum_{i=1}^m \beta_i / \left(T_b \sum_{i=1}^m N_i \right) = \frac{60}{2\pi} \frac{\beta_i}{N_i T_b} = \frac{60}{2\pi} \frac{\beta}{T_b N_\beta} \quad (9)$$

式中, N_β 为平均输出脉宽内的基准脉冲数. 令脉宽系数

$$\lambda_i = \beta_i / \beta = N_i / N_\beta$$

利用恒基准脉冲数法采样时一次获取输出脉冲数为

m , 基准脉冲数为 $\sum_{i=1}^m N_i$, 可推出其测量转速同实际转速之间的关系为

$$n = \frac{60}{2\pi} m\beta / \left(T_b \sum_{i=1}^m N_i \frac{mN_\beta}{\sum_{i=1}^m N_i} \right) = \frac{60}{2\pi} \frac{m\beta}{T_b \sum_{i=1}^m N_i} \frac{1}{m} \frac{\sum_{i=1}^m N_i}{N_\beta} = \frac{n_0}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (10)$$

则考虑脉宽误差补偿时实际转速为

$$n = \frac{n_0}{m} \sum_{i=1}^m \lambda_i = \frac{60}{2\pi} \frac{2\pi f_1}{KZ \sum_{i=1}^m N_i} \sum_{i=1}^m \lambda_i = \frac{60 f_1}{KZN} \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (11)$$

从式(11)可看出,将测量转速乘以 $\sum_{i=1}^m \lambda_i$, 即可
 万方数据
 获得实际转速,从而消除了脉宽误差. 因此求出 λ_i

值将是减少速度检测误差的关键,只有提前检测光电脉冲编码器的 λ_i , 才可对测量系统进行补偿. 同时为具体确定对应的 $\sum_{i=1}^m \lambda_i$, 必须以 Z 相零位脉冲作为采样控制脉冲,以保证从零位脉冲开始计数.

3.2 光电脉冲编码器脉宽比例系数的标定

采用 90BF3/1.5 型光电编码器、5V 电源和台湾研华公司提供的 TMC-10 定时/计数卡. 该卡采用与 PC 机兼容的 ISA 总线做数据传输线,提供最高 8 MHz 的时钟脉冲^[5],具有 8 组独立的 14 位计数器/定时器和两组级连的 32 位计数器/定时器. 另外有 11 级可供自选的中断端口. 考虑电网波动,负载变动等因素会影响电动机转速的均匀性,必须加大转动惯量. 为此,将编码器安装于 C6140 车床主轴端,编码器的 A 相脉冲和 B 相脉冲连接到 TMC-10 的两个 32 位计数器端口,而 Z 相脉冲连到计算机的中断端口. 将 Z 相脉冲作为各脉冲的起始位置,以确定各脉冲在编码器旋转一周中所代表的位置. TMC-10 所测到的各个脉冲宽度值是一组用基频脉冲表示的数据,这些数据将通过中断方式由 ISA 总线传输并保存到计算机内. 标定前,为避免环境温度的影响,机床先空运行 15 min,并且在检测过程中,始终保持空载状态. 获得脉宽比例系数的步骤:

- (1) 保持电动机在某一转速作匀速转动,通过上述装置检测出各脉冲宽度 N_i 值;
- (2) 计算在此转速下的理论脉宽 N 值;
- (3) 计算相应的脉宽系数.

在速度检测时,根据式(11),剔除脉宽误差的影响,从而得出最终的测量值,表 2 列出了经脉宽校正后速度检测的相对误差和均方差. 由表 2 可见,通过脉宽比例系数的校正,所得的检测值相对于实际值的误差大大减小,表明通过脉宽纠正后确实提高了速度的检测精度.

表 2 不同转速下速度检测测量的对比

Tab. 2 Comparison of the measured value under different rotating velocity

$n_0 /$ (r · min ⁻¹)	$n /$ (r · min ⁻¹)	$\epsilon /$ %	均方差	
			纠正前	纠正后
178	178.805	0.47	1.658 95	0.744 20
349	350.663	0.48	3.584 46	0.952 07
446	447.555	0.35	3.740 01	1.309 05
553	555.704	0.49	4.544 91	1.102 14
961	963.116	0.22	5.983 72	1.752 53
1 226	1 224.982	0.08	5.714 50	2.405 61

4 结 论

为减少测速精度受到量化误差和编码器制造误差的影响,从采样方式入手,首先解释并采用数学方法量化了测量系统对检测精度的影响,就如何减小量化误差和脉宽误差的影响作了理论上的分析和证明,并进行了实验验证.

(1) 提出采用恒基准脉冲数法进行速度的检测,降低量化误差对速度检测的影响,避免了常规测量方法的限制.

(2) 提出脉宽误差补偿的理论和方法,并设计一套基于 PC 的检测装置标定了编码器的脉宽系数.实验证明,经脉宽系数校正后,检测值的相对误差大大降低.

(3) 采用本文的理论和方法,可使分辨率较低的光电脉冲编码器达到较高的检测精度.该方法具有较大的应用价值.

参考文献:

- [1] 曲家骥,王季铁.伺服控制系统中的传感器[M].北京:机械工业出版社,1998.
- [2] Hagl R, Bielski S. Rotary encoders make digital drives dynamic[J]. *Machine Design*, 1994,54(8):52-58.
- [3] Lygouras J, Lalakos K, Tsalides P. High-performance position detection and velocity adaptive measurement for closed-loop position control[J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 1998,47(8):978-985.
- [4] Gerhard P H, Viljoen C. Digital measurement of low values of angular velocity and acceleration author[A]. *IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*[C]. America: IEEE,1990. 70-82.
- [5] 李 峻.异型圆车削的数字控制刀具同步进给系统的研究[D].上海:上海交通大学机械学院,1999.

下期发表论文摘要预报

四维变系数对流扩散方程的通用并行数值计算

支小莉¹, 陆鑫达¹, 戎 璐², 曾志勇¹

(1.上海交通大学 计算机科学与工程系,上海 200030; 2.上海交通大学 自动化系)

摘 要:将 Crank-Nicolson 隐差分法与分带交替并行方法结合,提出一种绝对稳定的变系数四维(空间三维加时间一维)对流扩散方程的通用并行数值计算模型——Codie4D,可用于模拟一般性的不可压缩流体中的对流扩散过程,利用普遍的 MPI 库在工作站网络上可并行化实现 Codie4D.实验结果表明,Codie4D 具有通用性强、无条件稳定、精度高和运行性能好的特点.

双语句法分析及歧义消解

屈 刚, 陆汝占, 王振华

(上海交通大学 计算机科学与工程系,上海 200030)

摘 要:提出了一个利用待分析句的对译句作为附加信息来排除分析句歧义的双语句法分析器,这种利用语言之间信息排歧的方法基本解决了在某一种语言内难以解决的排歧难题.双语句法分析的核心是反应源语言、目标语言间对译关系的翻译模型理论.文中提出了“抽象句法树”的概念以及基于抽象句法树的翻译模型理论,使系统可以排除翻译异常现象的干扰,从而对译句获取有助于排歧的信息.