

增量式编码器的一种新的参考点归零算法及其实验研究^①

苗中华^② 刘成良 王旭永 陶建峰 雒宝莹 扬飞鸿

(上海交通大学机械与动力工程学院 上海 200240)

摘 要 针对增量角度编码器在绝对定位场合下开机时必须先执行参考点归零操作的问题,基于带距离编码参考点的增量式编码器所具有的独特编码机制,提出了一种新的参考点归零算法,并详述了该算法的原理、实现方法及实验研究。该算法无需经过零位刻线即可建立参考原点,在快速性、精确性、抗干扰能力等方面相比一般增量式编码器找零算法具有突出的优势。实验结果验证了所提算法的有效性、快速性和鲁棒性,从而用增量式编码器实现了角度的绝对位置测量与定位,具有理论创新性与极强的工程实践价值。

关键词 找零算法,距离编码参考点,参考原点,增量式编码器,绝对位置定位

0 引 言

增量式编码器广泛应用于工业测量及自动控制领域中的角度精确测量和位置定位^[1,2]。由于增量式编码器定义上电位置为零点位置,因此在要求角度绝对定位的场合,开机时必须先执行参考点归零操作以建立机械参考原点,也即找零。为此,很多生产商在编码盘上预设了一条参考刻线,每次开机时编码器扫描该刻线并从此开始计数。因此,无论在何处上电,只要先执行找零操作,增量式编码器便可以像绝对式编码器那样测出旋转的绝对位置值,从而实现角度的绝对位置测量与定位^[3-7]。该找零方法是有效且实用的,但往往需要设备旋转较大的角度,甚至近 360°才能找到参考零位刻线^[8],在角转动范围有限的设备中无法实现找零;另一方面,单参考刻线结构的找零准确可靠性在很大程度上取决于系统某一特殊位置的敏感程度,并对由于干扰导致的找零错误几乎没有免疫能力。

为加快和简化“参考点归零”操作并提高鲁棒性,本文基于带距离编码参考点的增量式编码器,提出一种全新的找零算法,并详细阐述了其找零算法原理和实现方法。用这种算法,只需旋转一个名义增量值即可找到固定参考零位。参考点归零后,增量式编码器便可以像绝对式编码器那样测出旋转的绝对位置值,从而实现角度的绝对位置测量和定位。

为验证找零算法的有效性、可靠性和鲁棒性。在转台外框实验平台上对其进行的实验研究的结果表明,该算法可行有效,无需经过零参考刻线即可建立参考原点,是一种解决在缺乏超高位绝对式编码器情况下实现绝对角度精密测量的方法,具有理论创新性与极强的工程实践价值。

1 距离编码参考点增量式编码器基本原理

本文以 Heidenhain 公司生产的 RON786C 型编码器为例简述一下带距离编码参考点增量式编码器的基本原理。与单参考零位增量式编码器不同, RON786C 型编码器的最大特点在于其独特的参考刻线编码结构。RON786C 型编码器的光栅尺上刻有带距离编码的诸多条参考刻线,这些参考刻线彼此相距数学算法确定的距离^[9]。

如图 1 所示, RON786C 型编码器光栅整周共有 36000 条刻线用于角度测量,在每 $10n$ (n 为 1 至 36 的整数) 处有一条参考刻线,在 $10(n-1)$ 与 $10n$ 度之间有次参考刻线,次参考刻线将两参考刻线间的 1000 条刻线分为 $(500+n)$ 和 $(500-n)$ 的两部分 ($n=1\sim 36$)。当旋转经过参考刻线(包括次参考刻线)时,不但可以输出位置信号,还会输出参考脉冲。

RON786C 有三根信号输出线(A、B、R)。当编码器转动时, A、B 分别输出系列正弦波,两波的相差

^① 863 计划(2006AA04Z432)和 973 计划(2007CB714003)资助项目。

^② 男, 1977 年生, 博士; 研究方向: 机电液智能伺服控制, 基于网络的远程监控与智能维护; 联系人, E-mail: zhonghua_miao@163.com (收稿日期: 2008-05-27)

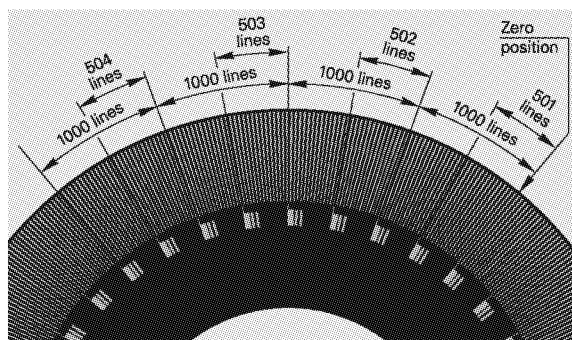


图 1 距离编码参考刻线圆周分布示意图

$\frac{(\varphi_1 + \varphi_2)}{2}$ 为 $90^\circ \pm 10^\circ$, 据此来判断编码器转动的方向。每转过一条刻线, A、B 线分别发出峰峰值 M 范围为 $0.6V \sim 1.2V$ (典型值为 $1V$) 的正弦波。当转过参考刻线时, R 线会输出幅值 G 范围为 $0.2 \sim 0.85V$ 的三角波信号; 而非参考刻线下, R 线的输出电压 H 约为 $-0.04 \sim -1.7V$, R 线的输出被称之为参考脉冲, 信号输出特性见图 2。

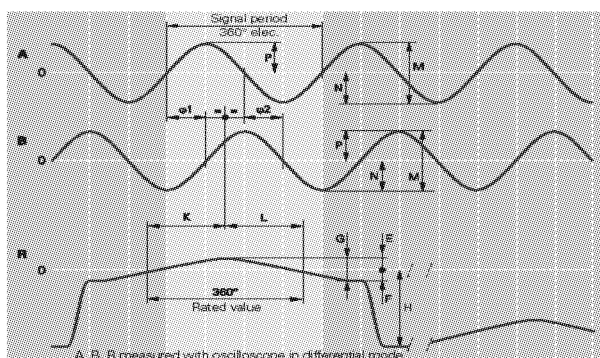


图 2 RON786C 型编码器的信号输出特性

2 找零算法设计与实现

定义三个坐标系(如图 3 所示):(1)上电零位坐标系;(2)编码器零位坐标系;(3)机械系统零位坐标系。其中,机械系统零位坐标系为所求坐标系,用做闭环控制的角度值是该坐标系下的角度值。

图 3 中, α 是机械系统零位坐标系下的角度值, β 是编码器零位坐标系下的角度值, γ 是上电零位坐标系下的角度值。显然有

$$\alpha = (\alpha - \beta) + (\beta - \gamma) + \gamma \quad (1)$$

其中, $(\alpha - \beta)$ 是系统零位与编码器零位的角度差,一旦编码器被安装在机械系统上, $(\alpha - \beta)$ 便确定为常数; γ 为即时角度值。因此,若 $(\beta - \gamma)$ 可得,则 α 便可确定。又因 $(\beta - \gamma)$ 是编码器零位与上电零位的角度差,且每次上电后为一

常数,直到断电为止保持不变。故每次开启系统后,只需进行一次找零,以确定 $(\beta - \gamma)$ 值^[10]。

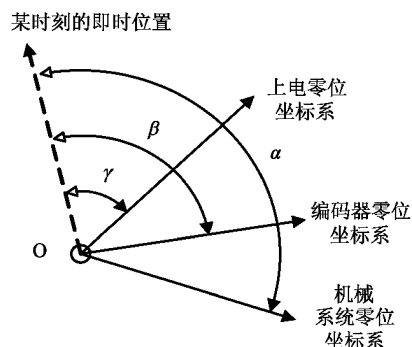


图 3 参考坐标系示意图

为获得 $(\beta - \gamma)$ 的值,利用数据通道 1 和通道 2 来分别采集同一编码器的输出值(见图 4),其中通道 1 的参考脉冲被忽略;而通道 2 的参考脉冲不被

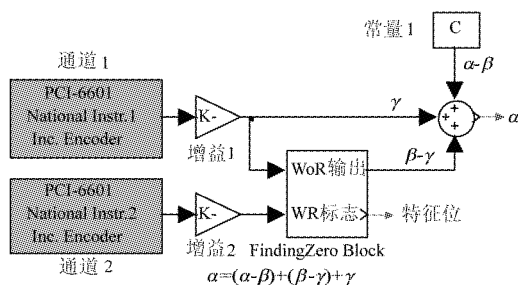


图 4 找零算法实现原理框图

忽略,且在收到参考脉冲时把计数器清零;利用 1、2 两通道设置的不同,设计找零算法。图 4 中, $C = \alpha - \beta$, 即系统零位与编码器零位的角度差。通道 1 和通道 2 是采集卡 PCI-6601 两独立的通道,通道的输出乘以常数 K 将脉冲数转换为角度值后分别作为找零模块 *FindingZero Block* 的两个输入 WoR 和 WR 。当编码器正转时, WoR 的值单调增加, WR 的值除在参考刻线处清零外,也是单调增加的;当编码器反转时, WoR 的值单调减小, WR 的值除在参考刻线处清零外,也是单调减小的。因此,当 $|WR|$ 减小时,说明转过一个参考刻线,此时将 WoR 与 WR 相减,即可得到该参考刻线的 γ 值,记

$$\gamma_k = WoR_k - WR_k \quad (2)$$

同理,可得下一参考刻线的 γ 值,记

$$\gamma_{k+1} = WoR_{k+1} - WR_{k+1} \quad (3)$$

设两相邻参考刻线间的角度差为 $\Delta_{k,k+1}$, 则有

$$\Delta_{k,k+1} = \gamma_{k+1} - \gamma_k \quad (4)$$

根据 $\Delta_{k,k+1}$ 和 $(\beta - \gamma)$ 的对应关系,可设计算法获

得 $(\beta - \gamma)$ 值。为增强测量可靠性,继续转编码器,如连续三次得到相同的 $(\beta - \gamma)$ 值,则认为该值稳定可靠用做修正值;否则编码器继续转下去,直至找到可靠的修正值为止。根据公式(1),可求出系统零位坐标系下的角度值 α 。算法流程见图 5。

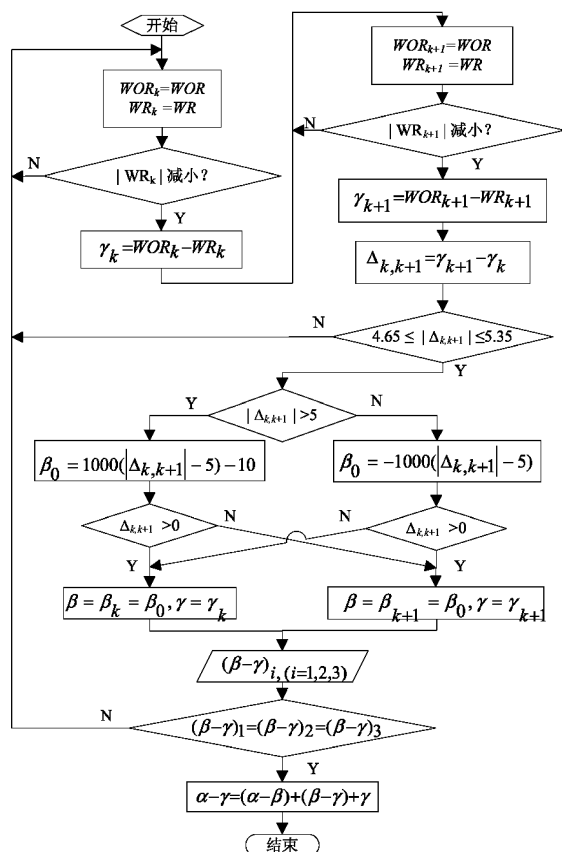


图 5 找零算法流程图

又因为

$$\alpha - \gamma = (\alpha - \beta) + (\beta - \gamma) \quad (4)$$

所以 $\alpha - \gamma$ 即是机械零位坐标系下的角度值与上电零位坐标系下的角度值之差,因此只要反向旋转 $\alpha - \gamma$ 度就可以由当前位置回到系统零点。

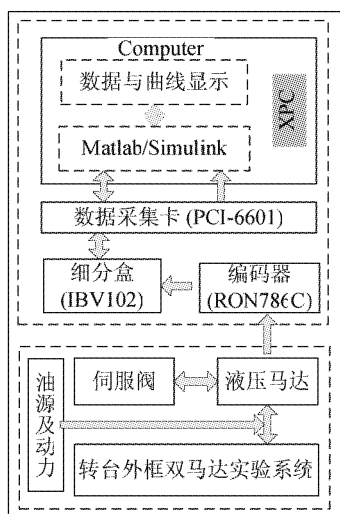
3 实验研究

3.1 实验装置

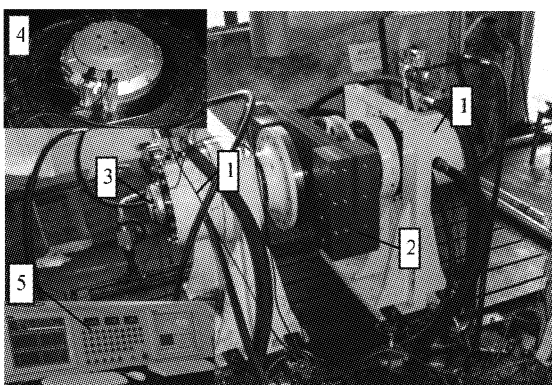
为验证所提算法的有效及可行性,在转台外框实验平台上对该算法进行了实验研究。实验装置原理框图与实物照片如图 6 所示。转台外框实验平台由计算机数据采集系统、双液压马达、数字伺服阀(MOOG 公司)和编码器等辅助元件组成。其软件采用基于 XPC 架构的控制和数据采集方案,借助 Mathworks 公司的 Simulink 模块和 S 函数实现。工作时,液压马达驱动模拟负载摆动,PCI-6601 卡用来采集安装于马达端面的增量式编码器 RON768C(海德汉公司)产生的角度信号。本实验系统中 $C = (\alpha - \beta) = 71.4592^\circ$ 。

3.2 实验结果与分析

分别在几个不同的特殊位置采集了实验数据,结果如图 7、图 8 和图 9 所示。图 7、图 8 和图 9 分别表示系统在零点附近、正极限位置附近(约 65°)和负极限位置附近(约 -45°)开始找零的实验曲线。由图可见,找零主要包括两大过程,一是计算零位修正值的过程 Δt_1 ,二是走到系统机械零位的过程 Δt_2 。



(a) 实验装置原理示意图



1 外框液压马达 2 模拟负载
3 固定于马达端面的RON786C编码器
4 编码器的放大图 5 数据采集及控制系统

(b) 实验装置实物照片

图 6 实验平台原理框图与实物照片

系统在 t_1 时刻开始找零,在驱动力作用下以 $3^\circ/\text{s}$ 的速度转动,该过程中如果连续三次得到相同的修正值,则认为系统找到可靠的零位修正值 $(\beta - \gamma)$ 。从 t_2 时刻始找零进入第二个过程,系统以 $5^\circ/\text{s}$ 的速度

从当前位置走向系统机械零位。在 t_3 时刻到达系统机械零位,同时完成从上电零位坐标系到系统零位坐标系的切换,整个找零过程结束。

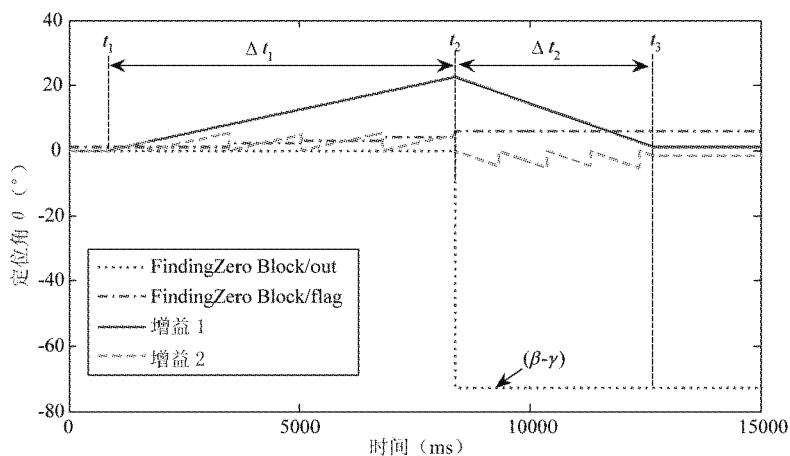


图 7 零位附近开始找零的实验曲线

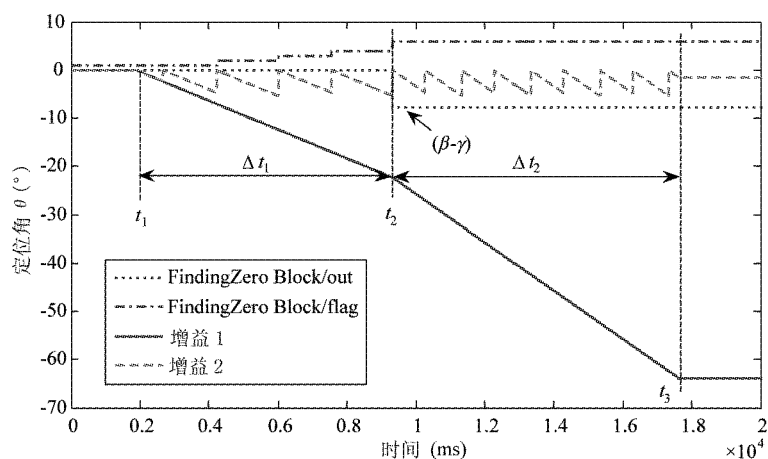


图 8 65° 位置附近开始找零的实验曲线

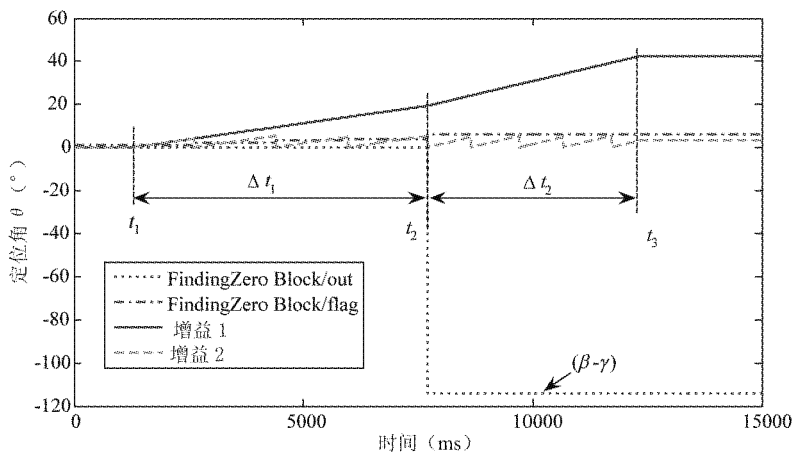


图 9 -45° 位置附近开始找零的实验曲线

从图中看出,从系统找零开始到找到零位修正值只需一个名义增量角度,为增强找零可靠性,连续得到三次零位修正值的转动角度总计约 20° 左右,和单刻线找零算法可能转动 360° 范围相比,大大加快了找零速度。另一方面,单参考刻线找零算法精度很大程度上取决于系统单刻线处的敏感程度,而本文所提找零算法不依赖单刻线敏感程度,大大提高了可靠性。

4 结 论

本文以 RON786C 为例,介绍了带距离编码参考点增量式编码器的工作原理和编码机制,并基于此设计了一种新的找零算法,详细阐述了找零算法原理和实现过程。与基于单参考刻线的普通增量式编码器找零算法相比,所提算法大大加速和简化了“参考点归零”操作,提高了找零准确可靠性,增强了系统在找零过程中的鲁棒性和抗干扰能力。

“参考点归零”后的增量式编码器就具有了“记忆”功能,不论编码器在何处上电,只要每次上电后先执行“参考点归零”操作,再转动到同一位置,便会指示出唯一的角度位移值。这样,增量式编码器便可以像绝对式编码器那样测出旋转的绝对位置值,从而实现角度的绝对位置测量和定位。所提算法提供了一种解决在缺乏超高位绝对式编码器情况下实现绝对角度精密测量的方法,具有理论创新性与极强的工程实践价值。

参考文献

- [1] 刘文魁,石建玲. 光电旋转编码器在角度测量中的应用. 现代制造工程, 2006, 11: 90-93
- [2] Faccio M, Grande P, Parasiliti F, et al. An embedded system for position and speed measurement adopting incremental encoders. In: Conference Record of the 2004 IEEE Industry Applications Conference, 39th IAS Annual Meeting, Seattle, WA, USA, 2004. 2. 1192-1199
- [3] Sugimoto H, Ichikawa T, Hosoi K, et al. Magnetic pole sensorless control for brushless DC servomotor with incremental encoder. In: Proceedings of the 4th Transactions of the 1999 National Convention Record IEE, Japan, 1999. 482-483
- [4] Sugimoto H, Ichikawa T, Hosoi K, et al. Magnetic pole position detection method and control of a brushless DC servo motor with incremental encoder. *Electrical Engineering in Japan*, 2003, 145: 64-77
- [5] Fernando P Q, José A, Jesús A, et al. Zero reference signal for displacement measuring systems by use of speckle. *Applied Optics*, 2003, 42(34): 6797-6803
- [6] Yang X, Yin C. A new method for the design of zero reference marks for grating measurement systems. *J Phys E: Sci Instru*, 1986, 19: 34-37
- [7] Li Y J. Design of zero reference marks for grating measurement systems: a new method. *Mea Sci Technol*, 1990, 1: 848-851
- [8] Xu Z, Hu X D, Luo C Z, et al. The electronic multiplication and interpolation of incremental optical encoder with reference mark. *Acta Photonica Sinica*, 2002, 31(12): 1497-1500
- [9] Heidenhain C. Angle encoders with integral bearing. http://www.heidenhain.com: 591_109_21_18458.pdf, 2006
- [10] 闫述. 大型高精度三轴液压伺服转台实时控制系统研究与实践:[硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学机械与动力工程学院, 2007. 57-63

A novel zero-reference-finding algorithm for incremental encoders and its experiments

Miao Zhonghua, Liu Chengliang, Wang Xuyong, Tao Jianfeng, Luo Baoying, Yang Feihong
(School of Mechanical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

Abstract

In view of the problem that an incremental encoder must perform the zero-finding to establish its mechanical origin when it starts to work in the case of absolute positioning, the paper proposes a novel zero-finding algorithm based on the unique coding mechanism of the incremental encoder with the distance-coded reference mark. The principle of the zero-finding algorithm and its implementation approach are detailed, and the experiments carried out are described. The novel algorithm can easily establish the mechanical origin without running across the zero-reference mark, which features some advantages in rapidity, veracity and anti-jamming ability compared to the algorithms in general incremental encoders. The experimental results show that the proposed algorithm is not only feasible and effective, but also reliable and robust. The measurement and absolute positioning for angle are achieved by the incremental encoder without scanning across the zero reference, and it is full of innovation and practical value in engineering.

Key words: zero-finding algorithm, distance-coded reference mark, zero reference, incremental encoder, absolute positioning