

# 单圈绝对式码盘编码方法的研究\*

陈 贇<sup>1,2</sup> 孙承浦<sup>1</sup> 何惠阳<sup>1</sup>

(1 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130031)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要** 通过对传统绝对式码盘编码方法原理的研究, 提出了一种新型的编码方法——单圈绝对式编码方式. 根据设计的码盘位数, 运用 VC 语言进行可视化编程, 得出角度位置和编码一一对应的编码. 该图形简单, 制作方便, 易于提高准确度和实现编码器的小型化, 克服传统绝对式码盘码道数过多、结构复杂、刻划难度大、编码准确度低等缺点, 为进一步研制单圈绝对式编码器提供了理论依据和技术支持.

**关键词** 码盘; 编码方法; 可视化编程; 单圈绝对式编码器

**中图分类号**                      **文献标识码**                      A

## 0 引言

光电轴角编码器作为一种采用光电技术进行非接触角度计量和测量的仪器仪表在数控机床、工业机器人、伺服传动技术、自动控制和国防等领域中得到广泛应用<sup>[1~4]</sup>. 传统的光电轴角编码器分为增量式和绝对式两种类型. 虽然增量式编码器的测量准确度可以达到很高, 但使用过程中必须多增加一路接收信号, 以判断编码器的旋转方向; 另外, 要提高测量准确度, 二者都要增加刻线数, 这给刻制码盘带来诸多困难. 特别是对绝对式编码器, 提高准确度就意味着增加码盘的直径, 从而无法实现编码器的小型化、轻便化和集成化. 因此, 码盘尺寸和分辨率对传统绝对式编码器来说是一对不可调和的矛盾. 而单圈绝对式编码方法摒弃了传统的莫尔条纹测量方法, 采用全新的编码方式, 即根据设计的码盘位数确定刻制的线数. 位数由 0/1 组成, 并且位数决定 0/1 的数目, 通过运用 VC 语言进行编程, 使得任何数变到相邻的数时, 代码中只有一位数字发生变化, 且整个代码中没有相同的代码, 刻线数为以 2 为底, 位数为幂的指数. 由于编码和角位置一一对应, 所以只需刻划一圈码道. 这样不但极大地缩小了码盘的体积, 而且给刻划工作带来了极大的方便. 同时, 采用线性电荷耦合器 (Charge Coupled Devices, 简称 CCD) 作为接收元件, 经过光电转换和计算处理, 根据编码和 CCD 像素所对应的角度值之间的关系, 通过特定算法精确确定所测量的角位置. 另外若在发光元件和接收元件之间加上 X 倍放大光学系统, 码

盘便可以缩小 X 倍, 因此, 单圈绝对式码盘构成的光电轴角编码器在满足准确度要求的情况下, 可以实现小型化、轻便化, 顺应了当今传感器的发展趋势.

## 1 编码方式现状

光电轴角编码器的核心元件是码盘或光栅盘, 增量式编码器的光栅盘由黑白比相同的亮线和暗线组成, 编码相对比较简单. 因此, 编码的方式是相对绝对式编码器来说的, 分为以下几种

1) 自然二进制码由 0 和 1 组成, 优点是组成的图案直观, 不需转换, 就可以直接读出转角大小; 缺点是容易错码, 即读数时易产生错大误差.

2) 周期二进制码也称循环码, 是由自然二进制码转换而得, 优点是读数时不会产生粗大误差, 缺点是不能直接读数, 是现在应用最广泛的一种编码<sup>[5]</sup>.

3) 十进制码如 8421 码, 余 3 码.

4) 六十进制码也称度、分、秒进制码.

5) 绝对式矩阵码 (如图 1) 若干位排列在同一圈上, 大大减小了码道圈数, 继而缩小编码器的结构尺寸, 但安装偏心 and 轴晃动造成码道间的圈间位置误

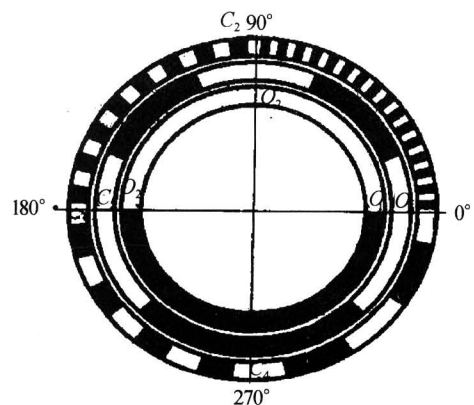


图 1 矩阵码盘  
Fig. 1 Matrix code disc

\* 中国科学院长春光机与物理所第三届青年创新基金 (No. Q03G04Z)

Tel: 0431-6176079 Email: tutoring@163.com

收稿日期: 2005-05-30

差比较大,处理电路复杂,所需光源和读数头较常规编码器多,因此只适用于特殊场合<sup>[6]</sup>.

6)游标码(如图 2)在码盘上刻有 2~3 个码道,根据游标卡尺的原理,依次错开一定的相位,发光器件为 LED,它通过正弦信号进行亮度调制后发出的光线正交,在码盘的另一边,对着码道放置两个相位差为  $\pi$  的 PDA(Photodiode Array),每个 PDA 包含四个有源元件,所刻的最大线数有设计准确度和误差共同决定<sup>[6,7]</sup>. 该编码虽然减少了码道数,但发光器件 LED 必须经过散射体后照射到码盘上,这给装调带来了困难. 另外,要起到绝对式编码器的作用,需要增加一磁质传感器来储存掉电前的位置信息,这使得编码器的整体结构复杂.

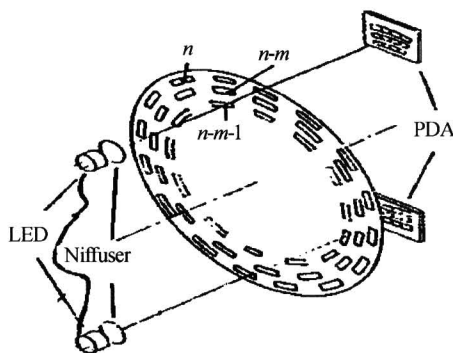


图 2 游标式码盘 Fig. 2 Vernier-type code disc

7)M 系列绝对码它是由日本的今井基胜提出的<sup>[8,9]</sup>. 图 3 是 3 位绝对编码的模型图,该编码的特点为每 1 节距含 1 条绝对码道,用切向并列的 3 个传感器检测绝对位置. 表 1 为传感器输出的读数. 由表 1,M 系列绝对码与二进制码一样,当绝对位置相邻两位变化时,读出数据可能同时两位或两位以上发生变化,产生粗大误差. 为了克服粗大误差,在码盘上制成 M 系列码及平行脉冲数相同的增量模式,再置绝对部的传感器间隔为 1/2 节距,如图 4. M 系列绝对码虽然提出了刻制一条码道的编码

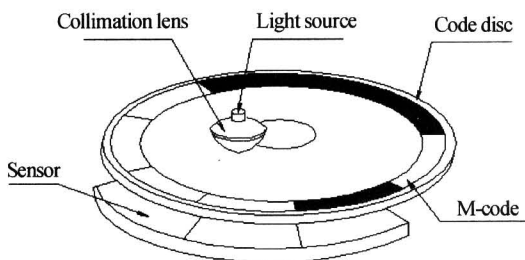


图 3 M 系列码模型图 Fig. 3 The model of M-code

表 1 传感器读数

读数	000	001	010	101	011	111	110	100
绝对位置	0	1	2	3	4	5	6	7

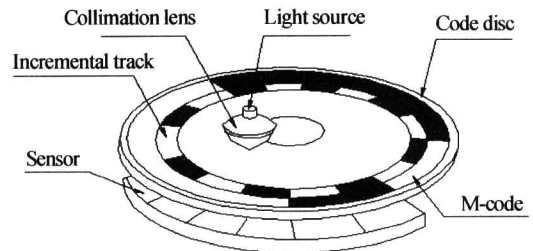


图 4 具有增量图形的 M 系列模型图 Fig. 4 The model of M-code with incremental track

方法,但却增加了辅助码道,整体结构没有得到简化,所以该编码方法没有脱离传统的编码思路.

8)绝对码简码 它是在 Gray 码和 M 系列绝对码的基础上进行设计的,由基码(包括滚动码和质码)组成<sup>[10]</sup>. 由于质码在滚动(即依次左移,左边的便被移至右边)过程中产生重复数,所以质码不能参与绝对简码的设计,但由该编码刻制的码盘构成的编码器仍需要和狭缝盘配合提取信号,而且简码位数决定狭缝盘上的狭缝数和光电接收元件数,因此无法制作高位数的编码器. 另外还有中科院光电技术研究所提出一种绝对编码方法,其基本原理为采用相间的黑白条纹在码盘上进行编码,用宽窄不同的三种白条纹分别表示“区标记”、“1 标记”和“0 标记”,从而将整个码盘分为 128 个区,该方法没有克服国外已有方法的缺陷,而且大大降低了设备的测量准确度<sup>[11]</sup>.

## 2 单圈绝对式编码原理

单圈绝对式码盘的编码原理是在对现有编码方法研究的基础上进行设计的. 传统的绝对式码盘采用 Gray 码进行编码,为了获得绝对角位置,必须在径向方向放置和码道数相同的发光元件和接收元件,要获得高准确度的码盘,就必须增加码道,使得结构复杂,无法实现编码器的小型化. 而单圈绝对式编码方法是把径向变为纵向,即把由码盘位数组成的径向编码变为纵向编码放置在一个码道之中,使得多码道码盘变为单圈码盘. 编码组由 0 和 1(0 代表暗条纹,1 代表明条纹,二者宽度相等)组成. 0 和 1 的个数由设计的码盘位数  $n$  决定,然后改变 0 和 1 的位置,使之代表不同的角度值,通过运用 VC 语言进行可视化编程,依照遍历原理,使得整个编码组序列中没有相同的编码组,最后生成  $2^n$  个编码组,流程图如图 5,可视化界面如图 6,刻线数也为  $2^n$ . 然后用线性 CCD 作为接收元件,线性 CCD 的有效感光长度在  $n \sim n+1$  个刻线数的宽度之间. 当该种编码器旋转时,通过采集卡采集每个刻线宽度内的脉冲个数,通过 VC 语言,计算出旋转对应的角度. 因此,在该长度范围内线性 CCD 的像元个数越多越

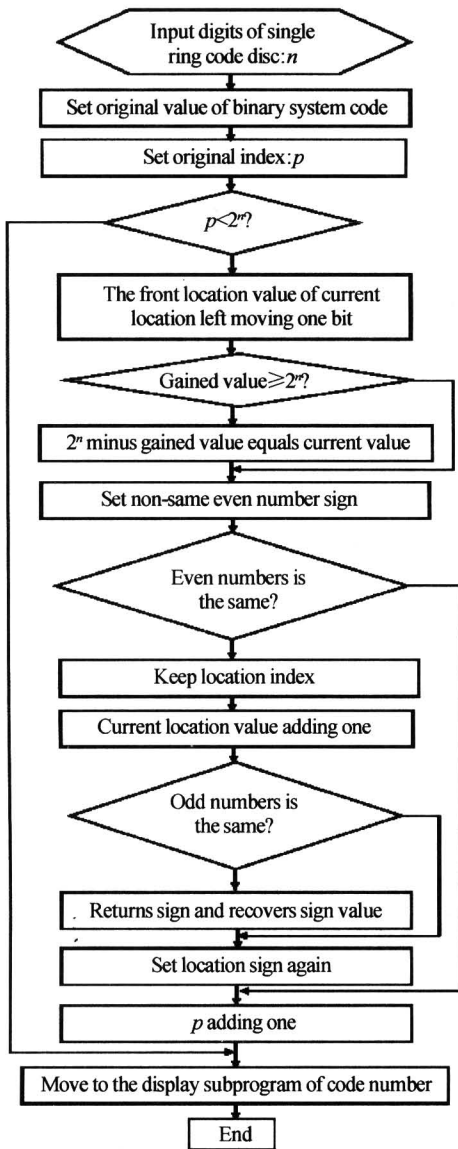


图 5 编码流程图  
Fig. 5 The flowchart of coding

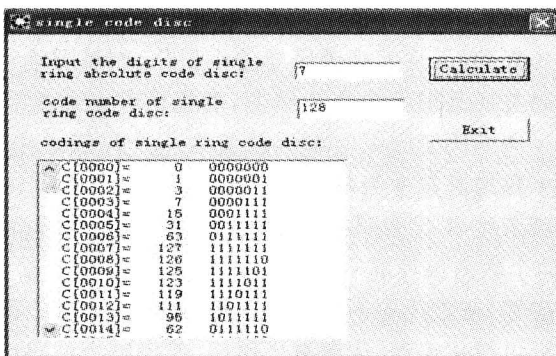


图 6 生成单圈绝对式码盘编码的可视化界面图  
Fig. 6 Visual interface of making codes of single ring absolute code disc

好,越多细分的分数就越多,测量的角位置就越精确。所以,以该种码盘构成的编码器的分辨率只与码盘的刻划中径和线性 CCD 像元个数和像敏单元大小有关。例如,要设计一个 7 位的码盘,编码组的 0/1

个数总数为 7 个(如 0000000 或 0000001 或 1111111 等),然后改变 0 和 1 的位置,可得到  $2^n$  组,若刻划中径  $D=80$  mm,线性 CCD 的像元个数为 1024 个,像敏单元大小为  $14 \mu\text{m}$ ,则得到理论分辨率为

$360 \times 60 \times 60 \div [(\pi \times D / 1024 \times 14 \times 10^{-3}) \times 1024] = 72.2''$  该式表示码盘的圆周可以分为多少个 CCD 单元,而每个单元又被分成 1024 份,每份对应的角度即为该种码盘的理论分辨率。

14 位和 15 位编码器的理论分辨率分别为

$$360 \times 60 \times 60 \div 2^{14} = 79.1''$$

$$360 \times 60 \times 60 \div 2^{15} = 39.6''$$

可知,由该单圈绝对式码盘构成的编码器的位数相当于 14~15 位编码器,但传统的 14~15 位绝对式编码器的码盘直径远大于 80 mm,若在码盘和 CCD 之间放置一个放大倍数为  $X$  的物镜,码盘直径便可以缩小  $X$  倍。通过 VC 得到的 7 位码盘的编码如图 6,然后通过光刻得到的单圈绝对式码盘图案如图 7。

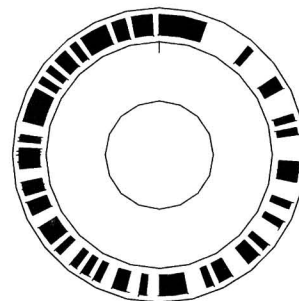


图 7 单圈绝对式码盘图案  
Fig. 7 Pattern of single ring absolute code disc

### 3 结论

通过对绝对式码盘编码原理的研究,运用 VC 可视化语言进行设计,得出了单圈绝对式码盘的编码,该码盘图案由明暗相等的线条组成,图形简单,不用分成若干个区,节约了刻划空间,缩小了码盘尺寸,易于刻制,便于实现编码器的小型化和集成化,为进一步研制单圈绝对式编码器提供了理论基础和技术支持。

#### 参考文献

- 董莉莉,熊经武,万秋华. 光电轴角编码器的发展动态. 光学精密工程, 2000, 8(2): 198~202  
Dong L L, Xiong J W, Wan Q H. *Optics and Precision Engineering*, 2000, 8(2): 198~202
- 罗长洲,孙岩,胡晓东,等. 码盘偏心对叠栅条纹信号相位的影响. 光子学报, 2003, 32(10): 1271~1273  
Luo C Z, Sun Y, Hu X D, et al. *Acta Photonic Sinica*, 2003, 32(10): 1271~1273

- 3 罗长洲,孙岩,高立民,等. 准绝对式光学编码器. 光子学报,2003,**32**(5): 628~631  
Luo C Z, Sun Y, Gao L M, *et al.* *Acta Photonic Sinica*, 2003,**32**(5):628~631
- 4 徐洲,胡晓东,罗长洲,等. 增量式轴角编码器的电子细分及零位处理. 光子学报,2002,**31**(12):1497~1500  
Xu Z, Hu X D, Luo C Z, *et al.* *Acta Photonic Sinica*, 2002,**31**(12):1497~1500
- 5 马宏. 精密刻划工艺. 北京:兵器工业出版社,1994. 179~183  
Ma H. *Precise Photolithographic Technics*. Beijing: Weapon Industry Press, 1994. 179~183
- 6 曹振夫. 小型绝对式矩阵编码器. 光学机械,1985,**5**:65~70  
Cao Z F. *Optics Machine*, 1985,**5**:65~70
- 7 Toshitsugu U, Fusao K, Toshio I, *et al.* Optical absolute encoder using spatial filter. *SPIE*, 1987,**814**:217~221
- 8 Fusao K, Toshio I, Kunio K, *et al.* Multiturn absolute encoder using spatial filter. *JSME International Journal*, 1990,**33**(1):94~99
- 9 Yuji M, Nobuhiko T, Tomoharu N, *et al.* High-performance absolute rotary encoder using multitrack and M-code. *Optical Engineering*, 2003,**42**(1):124~130
- 10 今井基胜. 光学式ロータリ エンコータの最新动向. センサ技術,1990,**7**:26~30  
Imai M. *Sensor Technology*, 1990,**7**:26~30
- 11 郁有文,常健. 绝对码编码器中一种新型的编码方法. 仪器仪表学报,2004,**25**(4):541~544  
Yu Y W, Chang J. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2004,**25**(4):541~544
- 12 苏海冰,刘恩海. 单圈绝对式编码器的研制. 光学精密工程,2002,**10**(1):74~78  
Su H B, Liu E H. *Optics and Precision Engineering*, 2002,**10**(1):74~78

## Research on the Encoding Method of Single Ring Absolute Code Disc

Chen Yun<sup>1,2</sup>, Sun Chengpu<sup>1</sup>, He Huiyang<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033

<sup>2</sup> Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039

Received date:2005-06-30

**Abstract** A new encoding method, which was single ring absolute encoding mode, was put forward by studying the encoding principle of traditional absolute code disc. Based on the designed digit of code disc, the codes that correspond to angle positions were obtained by using VC to program. The pattern was simple and the photolithography technology was easy. The precision of encoder was improved easily and the type of encoder can be made miniature lightly, whose core component is the code disc with the pattern. The method overcame the disadvantage of traditional code disc patterns such as more tracks, complex configuration, difficult photolithography and low encoding precision, and provides theories and technologies of encoding to develop further single ring absolute encoder.

**Keywords** Code disc; Encoding method; Visual program; Single ring absolute encoder



**Chen Yun** was born on Feb. 18, 1976, Shandong, China, and received his B. S. and M. S. degree in mechatronics from Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics in 1999 and in 2002. Now he is pursuing for Dr. degree from Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences. He has published ten papers in core Journal and international symposium or congress and obtained three patents. His research are mainly on photolithography and photoelectric detecting.