

零位光栅的设计与反演

王力锋 陈 贇*

(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 为了防止突然断电时造成数据错误,增量式光电轴角编码器通常采用零位光栅提供绝对零位信号。在对零位脉冲产生原理进行研究的基础上,建立其数学模型,并结合实际应用中的一些客观要求,采用阈值法通过 VB 语言进行可视化编程与模拟,计算出最佳零位光栅刻线序列,这对设计零位光栅特别是刻线数较多的零位光栅提供了理论依据和实现途径。同时,为了给出测绘出的零位光栅序列的光通量曲线和对其进行部分截取或改变后的光通量比是否变化,又进行了反演计算,并给出了改变后的光通量变化曲线,这对测绘零位光栅带来了便利。通过具体的实例对这种方法进行了验证,证明这种方法设计出的零位光栅最大剩余电压低、峰值电压高,大大方便了电信号的提取,满足了增量式光电轴角编码器对零位光栅设计的需要。这说明该方法在保证零位光栅最大光通量和对比度高的基础上,和传统穷举法相比具有运算量小、编程复杂程度低等优点。

关键词 光栅; 零位光栅; 刻线序列; 可视化编程; 反演; 最大光通量

中图分类号 TP212 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200929s1.0328

Design and Inversion of Zero-Position Grating

Wang Lifeng Chen Yun

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

Abstract Incremental photoelectric encoder usually adopts zero position grating providing absolute zero position in order to prevent from data fault during power failure suddenly. Based on theory of generating index pulse, a mathematical model is established. Combining with some objective requirements in the practical applications, the optimal zero-position reticle series is obtained and its luminous flux ratio curve is simulated by using VB language to program with threshold method, which offers a principle and a new realizing approach to design zero-position grating, especially more lines. At the same time, we provide the inversion program in order to give the luminous flux curve of measuring zero-position grating or when it is intercepted or changed, which brings the advantage in measuring zero-position grating. In order to check the feasibility of the method, some examples are given, which prove the zero position reticle series which fulfills the demands of incremental photoelectric encoder for zero position grating having many advantages such as the maximum residual voltage being lower, peak value voltage being higher. This explains that the method of generating or measuring zero-position grating has many advantages such as reducing operation quantity, lessening degree of programming complexity comparing with enumerating method, and the method also ensures that the zero-position grating has the properties of large luminous flux and high contrast.

Key words gratings; zero-position grating; reticle series; visual program; inversion; large luminous flux

1 引 言

零位光栅是由非等间隔和非等宽度的明暗相间的刻线组成的一种光栅序列。它是为防止增量式光电轴角编码器在突然断电或干扰后造成数据错误或丢失而设计的一种绝对零位^[1,2]。获得绝对零位的方法比较多,最常用的有单缝法、双缝法和绝对零位法^[3]。单缝法顾名思义就是利用单缝得到一个零脉

冲,该方法虽然简单,但抗干扰能力低,而且随着光栅栅距的减小,信号幅值也随之减小,这将导致零位误差增加,无法满足高精度场合;双缝法即提取两个信号,经相减处理后得到零位精度较高的零位信号,但它对刻划工艺要求较高,而且在栅距较小的情况下,其信号幅值也较小。为了克服上述两种方法的缺点,通常采用绝对零位法即采用多条刻线的光

基金项目: 中国科学院“优秀博士学位论文、院长奖获得者科研启动专项资金”资助课题。

作者简介: 王力锋(1968—),男,研究员,主要从事光学仪器的设计与研究等方面的研究。

* **通信联系人.** E-mail: tutorye@163.com

栅序列组成一组非等间隔和非等宽度的明暗相间的光栅,然后通过该光栅组成光栅副来获得空间位置唯一、信噪比较大的空间位置信号,从而解决了光通量和信噪比之间的矛盾。在设计零位光栅时,若光栅序列数较小,通过传统的方法——穷举法比较容易得出,但若光栅序列数较大时,采用穷举法很难获得较理想的零位光栅;而且在测绘已有的零位光栅或对已知的零位光栅进行部分截取或改变时,该方法也很难给出其光通量的变化曲线。为了较快地获得最佳零位光栅和给出已有零位光栅或改变后的零位光栅的光通量变化曲线,本文通过阈值法,借助计算机运用 VB 语言进行可视化编程并给出模拟结果,从而直观、快速地得出光通量比较大的可满足实际应用的零位光栅。

2 零位脉冲形成原理

实际使用的零位光栅如图 1 所示,图中的近似矩形为透光区,其余为不透光区。当标尺光栅相对于指示光栅移动时,由于黑白栅线的透光与不透光作用,透过零位光栅的光通量 $\Phi(n)$ 会发生急剧变化,得到峰值为 U_p ,底宽为 $2a$ (a 为最小单元亮线宽度)的三角形零位信号,如图 2 所示。图中的 U_{om} 为最大残余电压值,这是因为两光栅在移动时,在全亮位置即两光栅完全重合之外还有一些透光区域造成的。为了使光栅正向或反向运动时,零位脉冲在一个脉冲当量内完成,开门电平通常选择零位信号的峰值处或接近峰值处,所以,理想的零位光栅为 U_{om}/U_p 的比值即光通量比 D 越小越好^[4~6]。

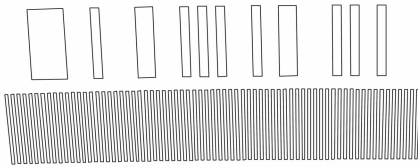


图 1 零位光栅放大图

Fig. 1 Magnification sketch of zero-position grating

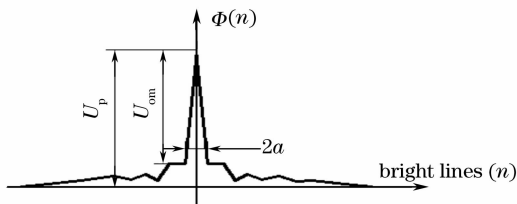


图 2 零位光栅输出电压和相对位移关系图

Fig. 2 Relation of output voltage of zero-position grating and relative displacement

3 零位光栅的数学模型

假定标尺光栅和指示光栅上的零位光栅刻线总宽度为 p 个单位线宽(p 为亮条纹数 n 和暗条纹数 m 的总和),用集合的形式表示为

$$\{a_i\} = \{a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_p\},$$

$$\{b_i\} = \{b_1, b_2, \dots, b_i, \dots, b_p\},$$

序列中 $a_i, b_i = "1"$ 或 $"0"$; $a_1, b_1, a_p, b_p = 1$ 。

以标尺光栅和指示光栅零位光栅刻线完全重合即全亮的位置为初始位置($h = 0$),当标尺光栅相对于指示光栅移动 h 个最小单元刻线宽度后,标尺光栅零位光栅的第 i 个最小单元刻线 a_i 移至指示光栅零位光栅第 $(i + h)$ 个最小单元刻线宽度的元素 $b_{(i+h)}$ 处,判断此处是否透光,要根据 $a_i \times b_{(i+h)} = "1"$ 或 $"0"$ 而定,等于 $"1"$ 为透光,否则为不透光。其亮线总宽度 S_h 为

$$S_h = \sum_{i=0}^{p-h} a_i \times b_{(i+h)}, \tag{1}$$

在实际应用中,零位光栅都采用“光闸式”莫尔条纹的工作方式获取信号,(1)式变为

$$S_j(i + j) = \sum_{i=1}^{p-j} a_i \times b_{(i+j)}, \tag{2}$$

式中 $i + j$ 表示两光栅移动后的位置, $j = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm (p - 1)$ 。

由于信号电压的幅值和光强度有关,因此,峰值电压和最大残余电压分别对应最大亮线总数 S_p 和次最大亮线总数 S_{op} ,光通量比 D 又可表示为

$$D = S_{op}/S_p, \tag{3}$$

在 p 已知的情况下,通过(2)式和对 D 的合理设置,便可以进行零位光栅的设计了。

4 零位光栅的设计与反演

在进行零位光栅设计时,根据零位光栅窗口大小和最小单元刻线宽度得出刻线总数 m ,为了便于 D 的计算,通常给出亮线数 n ,它是根据 U_p 和主光栅信号峰值大小相近要求来确定的,一般取 $n \leq m/2$ 。要得到一个最小 D ,必须对其进行组合排列即穷举法,这要经过 C_m^n 次组合,然后通过作图法模拟两光栅的相对运动得出需要的 D 值。显然,随着 m 的增大,通过手工计算是不可能的,必须借助计算机进行。但按照该方法进行编程,由计算机生成 C_m^n 种序列,计算每个序列的 D ,通过比较得出最小的 D ,在 m 比较大的情况下,计算量和编程量将成比例增加,这给编程人员带来困难,而且容易出现错误。为了简化计算,根据 D 的经验值: $1/2 \sim 1/3$,采用阈值法

进行编程,即设置 D 的阈值 D_x 为 $1/2 \sim 1/3$ 之间的某个值,若生成的序列的 $D < D_x$,则保留该序列,若 $D > D_x$,则重新生成新的序列,而且由于产生的随机数在 $0 \sim 1$ 之间,所以必须增加一个系数 $V, V = 1/2 \sim 1/5$,以 V 为另一个阈值,大于 V 则将其赋值为 1,否则,赋值为 0,有时由于 V 值选择不当,就会增加计算次数,甚至进入死循环,所以,对计算次数 C 也作了一个限制,若 $C > N$,则跳出循环,同时 D_x 加一个值 Z (Z 一般为 D_x 的 $1/10$ 左右),然后重新产生新的随机数,具体算法如图 3 所示。

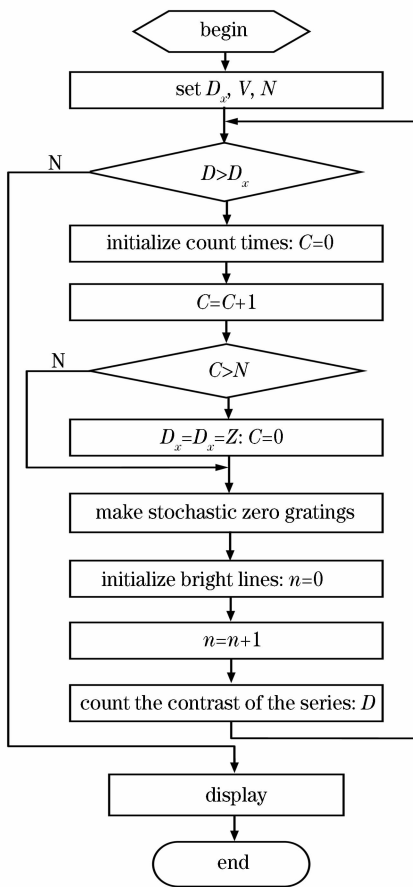


图 3 零位光栅序列算法流程图

Fig. 3 Flow chart of zero-position grating series

依照上述算法,运用 VB 进行可视化编程,并以 $m = 50$,对比度阈值 $D_x = 0.4$,计算次数 $N = 200$,阈值 $V = 0.5$ 计算零位光栅序列,由于对计算次数作了限制,因此,能在 3 s 内便得出结果(计算时间和 D_x 有关),通过多次计算,便可得到理想的光通量比的零位光栅序列,为 110010010100001000001000000001000000001010000110001,为了便于观看,可用数字表示法,即用“0”和“1”的个数来表示,并规定首位代表通光的线数,上述序列可表示为 221211141517181114231。

该序列最大亮线数为 13, $D = 0.3067$,其波形图和零位光栅如图 4 所示。

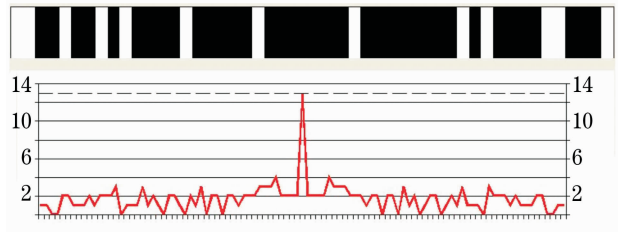


图 4 零位光栅及其波形图

Fig. 4 Diagram and waveform of zero-position grating

有时需要对现有的光栅盘进行测绘,由于光栅盘的刻线是均匀地分布于圆周之内的,通过测量几个线周期的宽度,根据相关的公式比较容易推算出其线数,而零位光栅是由一系列宽度不等、间隔不等的刻线组成,所以无法按照相关的公式进行推算,只能通过测绘的方式获得。由于测绘误差的存在,无法得知所测绘的光栅盘的零位光栅是否正确,这需把测绘的光栅刻线序列进行反演,根据其 D 值来判断。另外,为了对已知零位光栅进行优化,经常采用改变部分零位光栅的排列顺序或对零位光栅进行截取,然后计算改变后的零位光栅的光通量,通过和原有的光通量进行比较,得出优化的结果。上述两种情况都需要大量的计算,为了快速给出测绘或优化的结果,就需要通过计算机编程进行反演计算。通过相对移动,根据(1)式、(2)式并参照零位光栅的设计算法计算出 S_{op} 和 S_p ,运用 VB 进行可视化编程便可以给出改变后的光通量曲线。例如:对日本生产的 16200 线光栅盘的零位进行测绘,其零位光栅栅线编码为 233311122312231211184722221514111123121421131 11 2312241,通过该程序得出其光通量曲线如图 5 所示。由该曲线可以看出,虽然 D 值较大,但其走势比较平缓,对比较电平的设置有利,这对我们的零位光栅设计也是一个参考和指导。

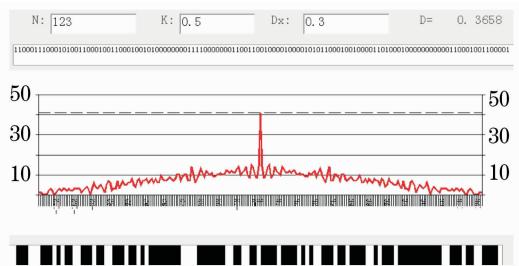


图 5 16200 线光栅盘零位光栅光通量测绘曲线图

Fig. 5 Luminous flux ratio curve of zero-position grating by measuring 16200 lines grating code

5 结 论

在对零位光栅产生原理进行研究的基础上建立了零位光栅的数学模型,通过采用新的算法——阈值法减小了计算量,借助计算机,运用VB语言进行可视化编程并给出模拟波形图,能快速、直观地得到所需要的零位光栅,为零位光栅的设计提供了参考依据,同时,为了给出测绘出的零位光栅序列的光通量曲线和对其进行部分截取或改变后的光通量比是否变化,又进行了反演计算,并通过编程给出了改变后的光通量变化曲线,这对测绘零位光栅带来了便利。

参 考 文 献

- 1 Pan Xingchen, Zhuang Songlin. A study on zero grating design by using the intergral global optimization method[J]. *Chinese J. Scientific Instrument*, 1988, **9**(1): 31~36
潘星辰,庄松林.用总极值方法进行零位光栅结构的最优设计[J].*仪器仪表学报*,1988, **9**(1): 31~36
- 2 Xu Yunfei, Chen Jiabi, Zhuang Songlin. An optimization algorithm of 1D zero-position grating code [J]. *Chinese J. Scientific Instrument*, 2006, **27**(4): 363~366
许云飞,陈家璧,庄松林.一维零位光栅编码优化算法[J].*仪器仪表学报*, 2006, **27**(4): 363~366
- 3 Ye Shengxiang. Precision Measure Technique of Photoelectric Displacement[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2003
叶盛祥.光电位移精密测量技术[M].成都:四川科学技术出版社, 2003
- 4 Cao Xiangqun, Liu Chunhua. The discussion on some characteristics about absolute zero grating bar [J]. *Optical Instruments*, 1994, **16**(3): 20~25
曹向群,刘春华.零位光栅的一些性能研究[J].*光学仪器*, 1994, **16**(3): 20~25
- 5 Peng Zhilong, Yue Yongjian. Computer simulation design of reticule series for zero position grating [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2002, **29**(3): 62~64
彭志龙,岳永坚.零位光栅刻线序列的计算机模拟设计[J].*光电工程*, 2002, **29**(3): 62~64
- 6 Yu Honglin, Lei Dongmei. A simple computer design of zero position grating[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2003, **30**(6): 18~20
喻洪麟,雷冬梅.一种简单的计算机零位光栅设计方法[J].*光电工程*, 2003, **30**(6): 18~20