

基于 VB 语言的零位光栅设计与反演

Design and inversion of zero position grating based on VB

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 陈 赟
CHEN Yun

摘要: 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某些客观要求,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。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: 增量式光电轴角编码器; 零位光栅; 刻线序列; 反演; 最大光通量; 对比度

中图分类号: TP212

文献标识码: A

Abstract: Based on theory of generating index pulse, a mathematics 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. 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: incremental photoelectric encoder; zero position grating; reticle series; inversion; large luminous flux; contrast

1 概述

零位光栅是为增量式光电轴角编码器测量有绝对参考点要求的情况下而设计的一种绝对零位,它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。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。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、快速地得出较大光通量并能满足实际应用的零位光栅。

2 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(即 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 $"1"$ 为透光,否则为不透光。其亮线总宽度 S_h 为:

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

式(1)就是绝对零位光栅的数学表达式,但在实际应用中,零位光栅都采用“光闸式”莫尔条纹的工作方式获取信号,上式变为:

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

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

陈 赟: 副研究员 博士

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”资助项目; 基金申请人: 陈赟; 基金名称: 基于 PC 树脂基片的计量光栅盘制作技术研究; 基金颁发部门: (076131G070)

为了简化设计及减小计算量,通常使 $a=b$ 。把(2)式展开,并对该二维阵列的阵元取值规律进行分析,发现次极大值 S_{min} 的最小值由下面两式限定:

$$S_{\text{min}} = [n(n-1)-2]/2(p-1) \quad (3)$$

$$S_{\text{min}} = \text{INT}[n(n-1)-2/(2p-4)]+1 \quad (4)$$

若 p 和 n 确定,由(3)、(4)式便可以确定最大残余光通量的最小值,由此便可以得到理想的光通量比 D 。

由于信号电压的幅值和光强度有关,因此,峰值电压 U_p 和最大残余电压 U_m 分别对应最大亮线总数 S_p 和次最大亮线总数 S_m ,光通量比 D 可表示为:

$$D = S_m / S_p \quad (5)$$

在 p 已知的前提下,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。在实际应用中,在光通量曲线变化平缓的情况下,希望 D 值尽可能地小,即对比度尽可能地大。

3 零位光栅的设计

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 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_s 为 $1/2 \sim 1/3$ 之间的某个值,若生成的序列的 $D < D_s$,则保留该序列,若 $D > D_s$,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_s 加一个值 Z (Z 一般为 D_s 的 $1/10$ 左右),然后重新产生新的随机数,具体算法如图 1 所示。

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 $D_s=0.4$,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 3s 内便可得出结果(计算时间和 D_s 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:

110010010100001000001000000010000000101000011000

1,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 2 所示。

4 零位光栅的反演

有时,我们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,通过测量一个线周期的宽度 W 和刻线的外径长度 Φ ,根据公式 $n=\Phi \cdot \pi / W$ 和经验比较容易推算出其刻线数,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,只能通过逐个窗口测绘的方式获得。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,这要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,根据公式(1)、(2)并参照零位光栅的设计算法计算出 S_m 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,其流程如图 3 所示,其中 i 为移动的次数, n_i 为移动 i 次后的次亮线条纹数。

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 112312241,通过该程序得出其光通量曲线如图 4 所示。由该曲线可以看出,虽然 D 值较大,但其走势比较平缓,即透光和不透光窗口排列比较合理,没有较大区间的透光或不透光窗口,而且中心的透光窗口比较多,这对信号的提取和比较电平的设置有利,为我们的零位光栅设计提供了参考和指导。

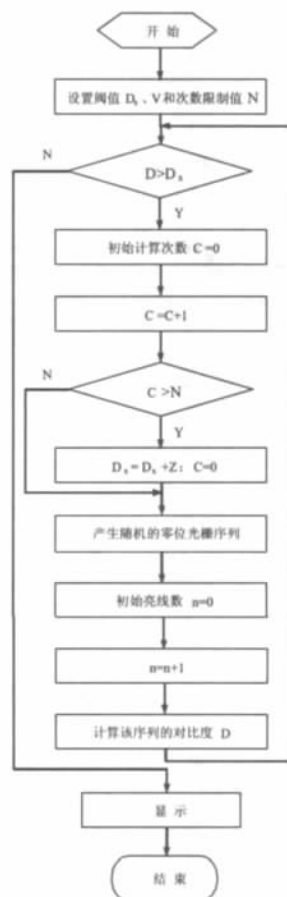


图1 零位光栅序列算法流程图

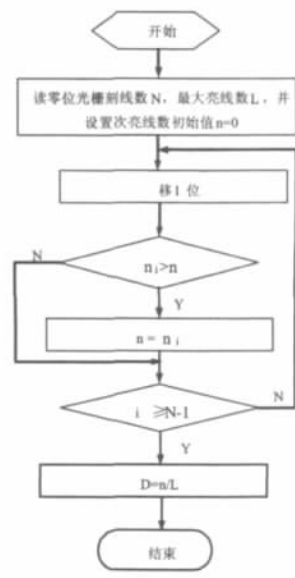


图3 零位光栅反演算法流程图

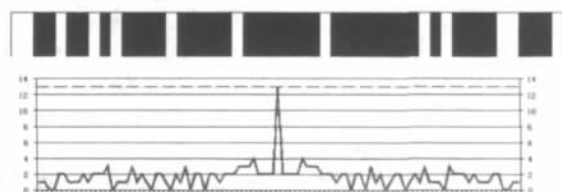


图2 零位光栅及其波形图

通讯地址:(130033 长春市经开区营口路 577 号长春光学精密机械与物理研究所光电传感室) 陈 赞

(收稿日期:2009.06.17)(修稿日期:2009.09.17)

(上接第 47 页)

在 EDA 仿真平台 Quartus II 下,基于 Altera 公司的 EP3SL340 FPGA 完成逻辑综合并通过 Altera DE3 验证板上的硬件仿真测试。其中算法实现的硬件成本、性能等指标,协同最后获得的相关系数曲面值,和未实施精度优化的浮点运算实现方案(为了达到设计精度要求,采用单精度 32 位浮点输入,双精度 64 位浮点运算输出)做了对比(如表 1 所示)。由于相关曲面涉及的值太大,表中并没有列出所有的计算结果。从最终测试结果来看,基于可变字长的精度优化实现的精度和理论计算值基本一致(误差 ± 0.000001),要比基于浮点运算得到的结果精度要高些。同时,在硬件代价、预期的最高性能 f_{max} 等指标也具有优势。但是,这需要在电路设计上付出更多的人工干预。

5 结论

本文针对高精度的实时图像匹配应用领域,对去均值 Nprod 算法的精度优化策略及 FPGA 硬件实现原则进行了研究。相关研究结论对涉及大量数据运算的匹配算法的 FPGA 硬件实现具有重要的参考和应用价值,对相关工程实践具有一定的指导意义。

论文创新观点:从有关图象处理算法中的精度优化与实现策略的 FPGA 硬件实现角度,论述了相关的通用设计准则,并给予了实际工程实现验证,对相关领域的研究与应用具有重要参考价值。

参考文献

- [1]李俊山,沈绪榜.归一化积相关图像匹配算法中的图像分块并行处理方法.小型微型计算机系统,2004,25(11):1986-1989
- [2]韩先锋,李俊山,孙满国,焦康.巡航导弹景象匹配算法适应性研究.微电子学与计算机,2005,22(7):53-61
- [3]张铁军.基于 FPGA 设计的精度管理策略.微计算机应用,2002,23(4):208-210
- [4]李蓉,于伦正.处理器中的浮点除法和平方根运算算法.计算机技术与发展,2007,17(3):109-111
- [5]贾淑华,李星野,马琳琳,姜兴乾.基于相关关系的图像分类和图像检索.微计算机信息,2009,5-3:122-125

作者简介:曾永红(1974-),男,博士,航天三院八三五七所,研究方向为嵌入式系统设计,低功耗 VLSI 设计方法学及 SOC/SOPC 设计技术等;俞利(1968-),女,高级工程师,航天三院八三五七所,研究方向为计算机应用及硬件设计。

Biography:ZENG Yong-hong (1974-), male, Phd, Institute 8357, Third Academy of China Aerospace Science and Industry Corporation, his research area is low-power VLSI design methodology and SOC/SOPC design technology.

(300141 天津 航天科工集团三院八三五七研究所) 曾永红 俞 利

(Institute 8357, Third Academy of China Aerospace Science and Industry Corporation, Tianjin 300141, China) ZENG Yong-hong YU Li

通讯地址:(300141 天津市河北区黄纬路 69 号航天三院八三五七所) 曾永红

(收稿日期:2009.07.03)(修稿日期:2009.10.03)

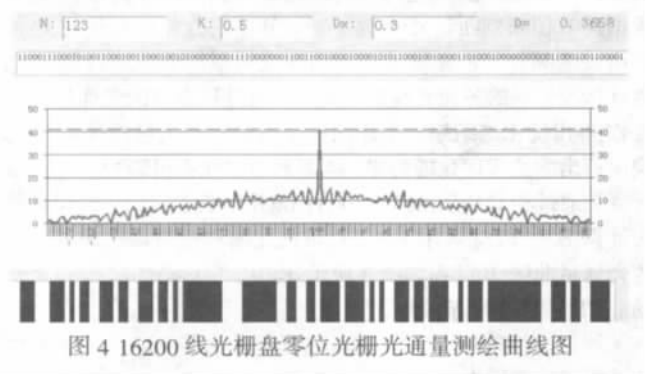


图 4 16200 线光栅盘零位光栅光通量测绘曲线图

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;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。上述程序产生的零位光栅已在实际应用中得到了验证:实际光通量比值和设计的光通量比值相吻合,证明该方法是正确的。

本文创新点:采用阈值法计算零位光栅序列,通过高级语言进行可视化编程,能快速得出需要的零位光栅序列,并直观地给出其对比度,同时又能对已知的零位光栅序列进行反演,可检验已知零位光栅序列的对比度,对以后的零位光栅序列设计起到指导作用。

参考文献

- [1]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[J].光子学报,2002,12:1497-1500
- [2]潘星辰,庄松林.用总极值方法进行零位光栅结构的最优设机[J].仪器仪表学报,1988,1:31-36
- [3]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,2006,4:363-366
- [4]罗长洲,高立民,胡晓东,等.光栅码盘零位图案的 CAD 设计[J].光子学报,2002,10:1281-1283
- [5]赵波.绝对式三级组合光电轴角编码器[J].微计算机信息,2008,5-1:12-14
- [6]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
- [7]曹向群,刘春华.零位光栅的一些性能研究[J].光学仪器,1994,3:20-25
- [8]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,2003,6:18-20

作者简介:陈赞(1976-),男,山东郓城人,副研究员,博士,主要从事码盘、光栅盘的精密刻划、镀膜和检测方面的工作和研究。

Biography:CHEN Yun, male, was born on February 18, 1976, in Shandong, China. Received his PhD in mechanics and automatization from Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences in 2006. His interests include on precision photolithography, photoelectric detecting, and the technique of getting Moiré fringe signal.

(130033 长春 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所) 陈 赞