

文章编号 1004-924X(2002)01-0074-05

单圈绝对式编码器的研制

苏海冰,刘恩海

(中国科学院光电技术研究所,四川 成都 610209)

摘要:单圈绝对式编码器是国际上新出现的光栅编码技术之一。它突破了传统的光栅编码原理,使用了一种新颖独特的黑白条纹编码方式进行角度测量;它的实现需要融合传感器技术、图像处理技术、计算机控制技术为一体。详细介绍了单圈绝对式编码器的基本原理和理论依据,具体给出了系统硬件设计方法。实验结果充分说明了系统设计及理论依据的正确性。

关键词:绝对式编码器;单圈编码器;光栅编码;系统设计

中图分类号:TP212.14 **文献标识码:**A

1 引言

当今社会是信息的社会,信息的获取日益重要。现代信息技术的三大支柱是传感器技术、通讯技术和计算机技术。其中传感器技术是信息社会的重要技术基础,传感器的品种、数量、质量和技术水平直接决定了信息技术系统的功能和质量。

光电编码器作为一种采用光电技术进行非接触角度计量的仪器仪表,在位置计量领域具有不可替代的作用,它把三大信息技术融合在一起,其使用越来越广泛。

传统的编码器分为增量式编码器和绝对式编码器,但无论哪一种,在光栅位置测量装置中都是通过一对计量光栅副相对位移产生莫尔条纹,由光电元件接收其信号,通过电子线路进行放大、鉴相、细分、计数等处理环节,最终实现位置计量。因此对于传统的编码器,一方面,根据其光学和电学原理,由于需要标尺光栅(主光栅)和指示光栅(副光栅)相对移动才能产生莫尔条纹用于测量,这决定了编码器的光学和机械装调工艺很复杂。另一方面,其分辨率与码道的数量和细分技术有关。要提高编码器的分辨率,所受限制较多。在码盘尺寸足够大的情况下,虽然可以通过增加码道的数量使精度和分辨率达到很高水平,但码盘尺寸过大又限制了编码器的使用范围;同时光栅

信号的接受器件也增多,对整个编码器的光学和机械装调精度也提出了较高要求,而每个光电器件的输出都要配置相应的后置处理电路,系统电路会变得更加复杂,不利于提高检测设备的可靠性。如果编码器尺寸受限,要保证其精度就只有减小码道的宽度,而同时保证码道刻划的均匀性难度很大,但其均匀性又直接影响着编码器的分辨率;相应地,透过光学狭缝的光强也会减少,这样一来对光电变换用的读出器件性能要求很高,无疑会增加系统的成本。显然,码盘尺寸和分辨率对传统编码器来说,是一对不可调和的矛盾,越来越不能适应各种科技应用对于编码器轻便性、小型化、高可靠性的要求。相反,微型传感器在军用、工业等领域的应用却越来越迫切。据专家预测,未来几年内,微型传感器可望出现热销。

而单圈绝对式编码器摒弃了传统的莫尔条纹测量方法,采用全新的编码方式,码盘只需刻划一圈码道,不但极大地缩小了码盘体积,给刻划工艺的提高也带来了很大的方便性。同时,只需一块码盘即可获取所要光学测量信号,使编码器的装调变得很容易。并且通过采用 SSPA 线阵列接收光电信号,极大地简化了后置处理电路。根据光栅码道的特殊刻划方法,通过一定的算法,即可准确读出码盘上各个位置的绝对数值。因此,单码道光栅盘构成的绝对式编码器在满足精度的要求下,变得小巧轻便、稳定可靠、易于使用。

单圈绝对式编码器是国际上新出现的编码器技术之一,适应了编码器小型化的需要。我们查阅了大量的技术文献,在国外只发现在 Leica 公司的经纬仪设备上使用过这种编码器,但并未见到更详细的有关技术方面的说明,国内更没有文字性的报道。

2 单圈绝对式编码器技术原理

单圈绝对式编码器是一种空间绝对位置测量设备,其原理组成框图如图 1 所示:

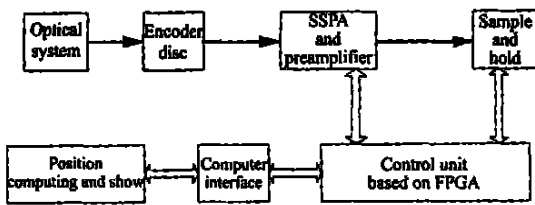


图 1 系统原理框图

Fig. 1 Schematic diagram of the system.

单圈绝对式编码器的基本原理是:由黑白条纹对编码器码盘圆周进行分隔达到角度测量的目的,这种全新编码器的实现要涉及到光电转换、图像传感器和图像处理、系统算法等诸多方面。该系统是采用相间的黑白条纹在光栅码盘上进行编码,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”,从而将整个光栅分成 128 等分。然后用固体图像传感器 SSPA 进行光学图像采样,得到码盘上黑白条纹图像信号的空间光强分布信息,再把视频模拟信号转化为数字量,通过计算机接口送给计算机进行角度计算,进一步使用模/数转换器对每个像素的空间光强分布信息进行亚像素细分,实现每个分区的中心位置精确定位,从而达到对码盘 360 的角度分辨。该系统基本原理固然简单,但其实现起来由于受到传感器像素空间分辨率的限制和其不均匀性的影响,以及模数转换出现的误差,对系统的数据处理算法有较高的要求。

3 单圈绝对式编码器的位置定位算法

单圈绝对式编码器码盘沿圆周方向等分成 128 个区域,区与区之间用一个透光的白条纹区标记窗口隔开。每个区内又有 7 个黑白间隔的窗

口,代表该区的代码,透光窗口分为“0”和“1”两种宽度。区号代码从 0000000 到 1111111 按顺序排列。

由于码盘每个区有七个白条纹窗口,根据码盘编码方式的要求,一次要读取 9 个完整的窗口作为测量区,这样才能保证其中至少有一个是完整的区标记窗口,以确定码盘转动后所在的区位;如果所读到的测量区中有两个完整区标记窗口,则以第一个作为测量到的区标记窗口,测量区的区号以该区标记窗口后的那个区的区号代码 NBR 表示, Q_0 表示当前测量工作区七个白条纹窗口的排列值。

测量区的区号算法如图 2 所示:

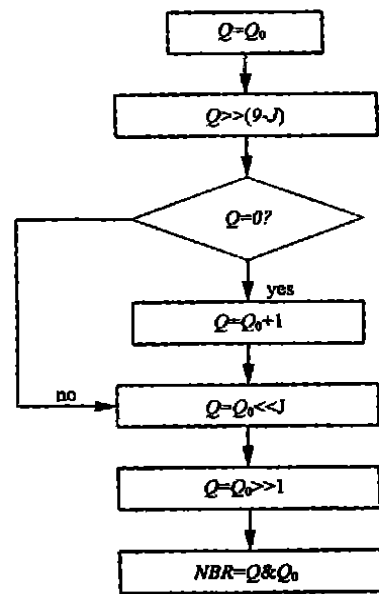


图 2 区号代码算法

Fig. 2 Algorithm of district code.

取出所读到的当前测量区前 8 个完整白条纹窗口代码(也就是 8 个窗口的二进制排列位置编码,其代码值设为 Q_0),必须保证其中有一个是区标记窗口,并确定其在窗口序列的顺序号(设为 J),其值取为 0。图 2 是计算当前测量区的区号 NBR 的子程序流程图,其中 \gg 是右移符号, \ll 是左移符号,移空的位填入 0。

在确定了测量区区号后,下一步要确定测量区的白条纹区标记窗口中心线在该区的位置,即所读到的第一个区标记窗口中心线在 SSPA 传感器像素上的空间位置分布,为了尽量减少误差因素,这个位置是用一个平均值来表达的。

因为 SSPA 器件在装调完成后,其像素位置就已经定位好了,因此可以用 SSPA 器件的位置作为参照,来定位测量区内区标记窗口中心线。这需要分两步进行:首先,要计算出在测量区的各个窗口中心线的位置 W_n ;其次,再算出区标记窗口中心线在测量区中的位移 W_0 。

在测量区中各个窗口中心线位置的计算公式如下:

$$W_n = [L \times 2048 - L(i) + (K - 1) \times 2048 + K(i)]/2, \quad (1)$$

其中, W_n 表示某一个窗口的中心线位置, $n = 1 \sim 9$;

L 表示该窗口的左沿所在的 SSPA 器件单元序号;

K 表示该窗口的右沿所在的 SSPA 器件单元序号;

$L(i)$ 表示将一个 SSPA 器件单元细分成 2048 份,该窗口左沿在 SSPA 器件单元所测得的光电平当量数, $0 < L(i) < 2048$;

$K(i)$ 表示将一个 SSPA 器件单元细分成 2048 份,该窗口右沿在 SSPA 器件单元所测得的光电平当量数, $0 < K(i) < 2048$ 。

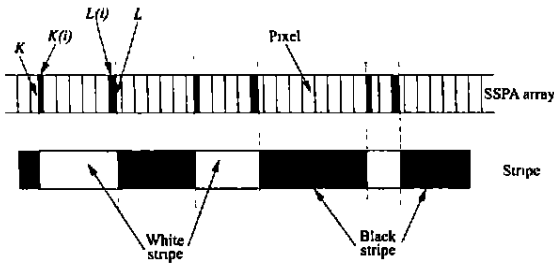


图 3 码盘在 SSPA 器件上的映射图

Fig. 3 Corresponding relationship between SSPA array and encoder disc.

所测九个完整窗口的中心线位置依此为: $W_1 W_2 \dots W_j \dots W_9$ 。利用所得到的数据,就可以用下面一组公式计算区标记窗口中心线的位置:

$$\tilde{W} = \left(\sum_{n=1}^9 W_n \right) / 9, \quad (2)$$

$$W_0 =$$

$$\tilde{W} + INT[(9 \times W_j - \sum_{n=1}^9 W_n) / \sigma_0 + J \times \sigma_0 / 9]. \quad (3)$$

其中, \tilde{W} 是测量区平均中心线的位置;

W_j 是区标记窗口中心线在测量区的位置;

σ_0 是两个相邻窗口中心线之间所包括的 SSPA 器件单元数,本设计中 $\sigma_0 =$ 条纹窗口间距/像素间隔;

J 是角度值分辨率修正系数。

要想测得码盘上一个完整的窗口,其中心线不可能在 SSPA 接收器件像素起始单元的极远处,因此由上面公式计算的 W_0 值永远不可能为 0,这与实际情况不符,有必要移动坐标起点。在本设计中,因为两个相邻窗口中心线之间包含的接收器件单元数 $\sigma_0 = 9$,故把起点选择在第 5 单元是较合适的,或者在满足测量区有效区间时更靠后也可,设起始像素点的变量值为 start,则 W_0 的计算公式相应改为:

$$W_0 = \tilde{W} + INT[(9 \times W_j - \sum_{n=1}^9 W_n) / \sigma_0 + J \times \sigma_0 / 9 - \text{start}], \quad (4)$$

W_0 的结果是一个平均值,代表当前码盘所在区的区标记窗口中心线距起始像素点的偏差值。由于码盘在理论上被均匀分割成 128 区,那么每个区所表示的最大角度值 θ 为:

$$\theta = 360 \times 60 \times 60 / 128 = 10125 (s), \quad (5)$$

因此当前码盘角度值 α 的计算公式就为:

$$\alpha = NBR \times \theta + W_0 / H \times \theta, \quad (6)$$

其中 H 是当前测量区的距起始像素点的最大偏离值。

在测量窗口中心线接近起点时,由于码盘刻划误差、SSPA 单元宽度误差及其它各种误差因素, W_0 可能会出现一个负数或者大于 θ 的正数。在实际显示结果时,这是不允许的。实际上负数表达的是上一个区的接近于终端的位置,因而出现这种情况,就要在程序中作出修改:此负数值加上 θ ,相应的区码改为 $NBR - 1$;而大于 θ 的正数表达的是下一个区的接近于终端的位置,应该修改为:此正数值减去 θ ,相应的区码改为 $NBR + 1$ 。

4 基于 FPGA 的硬件构造

图 4 给出了图像数据采集卡的工作原理:系统应用程序通过 PC 机 ISA 总线产生地址译码信号,初始化硬件设备,当硬件设备正常工作后,应用程序即可将 FIFO 存储池中的数据进行计算码盘位置。图中虚线框内的电路由一片 FPGA 实现。

在 ISA 总线中,AEN(地址使能)信号由主机 CPU 驱动,当它为高时表示有 DMA 传送周期正

在进行,此时不应访问 I/O 资源;BALE(总线地址锁存使能)信号也是由主机 CPU 驱动,当其出

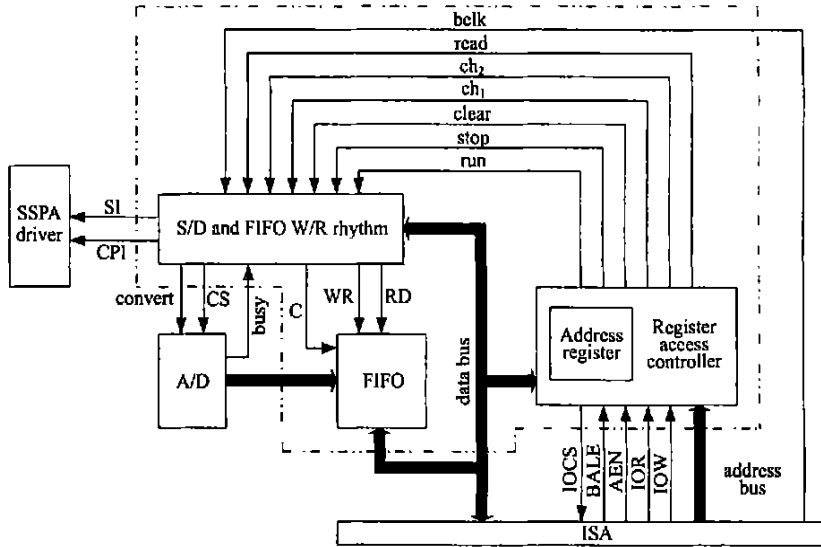


图 4 系统硬件原理图

Fig. 4 Schematic diagram of the system hardware.

现一个下降沿时地址总线上才是当前的有效地址;IOCS(I/O16 位芯片选择)信号由 I/O 资源设备驱动,当其为低时表示支持 16 位数据存取。因此,在 AEN 为低,BALE 下降沿到来时,就可以根据访问 I/O 资源的读写信号(IOR 和 IOW)对当前地址总线上的数据进行译码,达到操作相应 I/O 资源的目的,在对 I/O 资源进行 16 位数据操作时还需要相应控制 IOCS 信号。

采集与 FIFO 读写时序控制部分通过 CH1 和 CH2 端口设置分频系数,在 RUN 端口信号有效后,就根据 ISA 总线时钟进行分频,产生驱动 SSPA 线阵列的信号 SI、CPI 与同步 FIFO 读写所需的时钟 C,并根据采样保持电路的时序相位关系驱动 A/D 转换信号 CONVERT 和 CS,再由 A/D 转换的结束信号(BUSY)控制 FIFO 数据的写入。在本系统中由于受到选用的 FPGA(Xilinx 公司的 xcs20 - 3 - tq144)容量的限制,在其内部设置的是数据宽度为 12、深度为 256 的单口 FIFO,因此当 PC 机需要读取 FIFO 存储池中的数据时,要先发出 STOP 信号,在当前帧数据写完后停止下一帧数据的写入,让出 FIFO 的输入输出数据线给 PC 机,再由其发出 READ 信号依此读出当前数据去做相应处理,数据读取完毕后 PC 机将 FIFO 数据线交出以进行下一帧数据的自动

采样和存储。

5 实验结果

表 1 单圈绝对式编码器的检测数据

Table 1 Measuring data of the single-ring absolute encoder

Angle	Amendment value	Measuring error	Error after amendment
0°	0	0	0
15°	- 2.1	25.3	23.2
30°	- 1.6	35.5	33.9
45°	- 1.8	- 1.0	- 2.8
60°	- 1.6	23.0	21.4
75°	0	23.8	23.8
90°	- 3.3	- 4.1	- 7.4
105°	- 3.2	19.2	16.0
120°	- 0.3	30.8	31.1
135°	- 1.9	- 4.0	- 5.9
150°	2.0	22.4	24.4
165°	- 0.2	30.9	30.7
180°	- 1.0	9.7	8.7
195°	- 1.4	35.2	33.8
210°	- 1.6	46.8	45.2
225°	- 3.2	12.5	9.3
240°	- 2.1	35.6	33.5
255°	- 3.0	47.2	44.2
270°	- 2.5	5.2	2.7
285°	0.4	34.6	35.0
300°	- 1.9	41.9	40.0
315°	0.2	- 3.3	- 3.1
330°	- 2.1	30.0	27.9
345°	- 2.9	36.0	33.1
0°	0	2.6	2.6

系统最终实现的静态重复性精度可以达到 3s,分辨率达到 4s,编码器精度达到 52.6s。上表是用 24 面棱体检测所得数据,其中修正值是检测所用平行光管的修正值。

6 结束语

单圈绝对式编码器的研制,开辟了一种新的光电绝对式编码器实现途径,是对传统绝对编码方式的一种原理性突破,具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1]袁祥辉. 固体图像传感器及其应用[M]. 重庆:重庆大学出版社,1996.
- [2]王换招,杨璐,索建秦,等. PC 系列微机总线[M]. 西安:西安交通大学出版社,1995.
- [3]孟宪元. 可编程 ASIC 集成数字系统[M]. 北京:电子工业出版社,1998.
- [4]赵志诚. 传感器的科技攻关与技术发展[J]. 仪表技术与传感器,1997,(1):1-7.
- [5]董莉莉,熊经武,万秋华. 光电轴角编码器的发展动态[J]. 光学精密工程,2000,8(2):198-202.
- [6]孔智勇,赵红颖,熊文卓,等. 采用衍射、干涉技术高光电轴角编码器的测角精度和分辨率[J]. 光学精密工程,2001,9(3):260-265.

Research on single-ring absolute encoder and its applications

SU Hai-bing, LIU En-hai

(*Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209, China*)

Abstract: Single-ring absolute encoder is one of the latest techniques in the world. The method using black-white stripe to encode in single ring absolute encoder has made a breakthrough in the conventional encoding principle. The absolute encoder can be implemented by sensor fusion, image processing, computer control, etc. In this paper, the fundamental principle and theoretical basis of the single-ring absolute encoder are specified, and the system hardware design is illustrated. The experimental results show that both the system design and its theoretical basis are correct.

Key words: absolute encoders; single-ring encoders; grating encoding; system design

作者简介:苏海冰(1969-),男,重庆人,助理研究员,硕士,从事智能仪器和光栅传感控制技术研究,E-mail:suhaibing@sina.com;

刘恩海(1964-),男,四川达州人,研究员,从事智能仪表和光栅传感控制技术。