

准绝对式光学编码器的编译码原理

胡晓东¹ 郭 亮^{1,2} 吴文明^{1,2} 朱立峰^{1,2} 车 嵘^{1,2}

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所光电测控室, 西安 710068)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要 介绍了准绝对式光学编码器的测量原理, 根据其码盘特点, 设计了实用的编码算法. 利用计算机编程辅助实现了最高 17 位的索引码道编码设计, 并提出一种译码的方法, 可以实现从循环二进制码到自然二进制码的快速转换, 为其进一步工程实现提供理论基础.

关键词 准绝对式编码器; 二进制循环码; 编码算法

中图分类号 TP212 **文献标识码** A

0 引言

光学编码器是常用的测量长度、角度、速度等物理量的传感器, 其具有分辨率高、测量精度高、使用寿命长、工作可靠性好、测量范围广等优点, 因此广泛的用于雷达、光电经纬仪、指挥仪、自动测量、遥控、数控机床、机器人和高精度闭环调速系统中^[1,2].

按编码方式的不同, 传统的光学编码器分为增量式和绝对式两种. 增量式主要是利用光栅叠栅条纹原理, 将位移量转换为脉冲数字量并对其进行计数来实现角度测量的. 其特点是体积小, 构造简单. 但受其实现原理的限制, 增量式容易受到电子干扰而发生错误计数, 这种错误会累积起来并且电子系统很难发现. 另外增量式无法记录绝对位置, 一旦遇到停电、停机或中断运转等事故就会导致数据丢失. 绝对式由一系列的编码码道组成, 从窗口码道读出的一组二进制序列代表了绝对位置的测量值. 同增量式相比, 绝对式具有固定的零点, 输出编码是角位置的单值函数, 抗干扰能力强, 断电后再起时无须重新标定, 能随时检测绝对位置, 无累计误差等优点. 但是由于价格高、信号线多、制造工艺复杂等原因, 其使用受到一定限制. 特别是由于其体积较大, 无法适应编码器体积小、型化的发展趋势^[3,4].

在这种情况下, 综合增量式和绝对式的优点, 本文提出了一种新型的光学编码器——准绝对式光学编码器. 准绝对式编码器既保留了传统绝对式编码器测量数据为绝对数据的优点, 又克服了传统增量式编码器容易错误计数和累计误差的缺点, 其码盘光学图案比较简单, 外形尺寸也比相同精度的传统绝对式编码器小, 因此可以用于那些传统绝对式编码器难以应用的场合. 与两种传统编码器基本特点相比, 准绝对式具有一定的优越性^[5].

1 准绝对式光学编码器的码盘特点

准绝对式编码器的码盘是由循环码道和索引码道组成的, 循环码道与普通增量式码盘相同, 仍然由一系列均匀排列的遮光和透光线条组成. 索引码道则由类似于条形码的一系列连续二进制编码组成, 这又与传统绝对式编码器相似. 准绝对式编码器的光学图案如图 1, 其中外道为索引码道, 内道为循环码道.

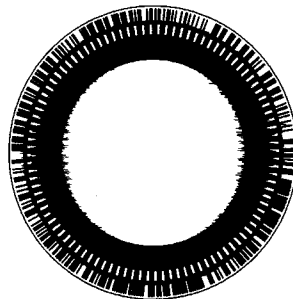


图 1 准绝对式编码器的光学图案

Fig. 1 Optical Pattern of Virtual Absolute Encoder

绝对位置用索引道上沿切向的编码序列来表示. 在一圈中每一个编码都是唯一的, 而且一旦编码序列确定, 它们之间就有着确定的相对位置关系. 即对于某一确定位置的编码, 各位置的编码都有其自身的序号 N . 循环道上按索引道上绝对位置编码的一位周期交替等间隔设置透明和不透明部分. 同时, 电子系统利用循环码道的输出信号来同步索引码道上位置编码的读取, 绝对位置编码可以由沿圆周方向顺序排列在索引码道上的多个光电探测器并行一次读取, 也可以由一个光电探测器经多次读取而串行获得. 下面以十二位串行读取的准绝对式码盘为例说明编码的读取过程, 假设索引道读头为 A 读头.

对 12 位的准绝对式码盘, 当由增量道产生的方波脉冲发生电平变化时, 对应于索引道上一位数据的结束和新的一位数据的开始, 处理单元可以对索引道产生的数据进行新的采样. 这样连续进行, 直

到增量道产生的方波脉冲产生 12 次电平变化,相应地触发对索引道数据的 12 次采样,得到连续的 12 位二进制数,就是当前位置的 12 位绝对位置的信息. 相邻下一位置的 12 位绝对位置信息中 11 位与当前位置的后 11 位相同,只有一位发生变化. 这样码盘连续旋转,每转过 1 圈,增量道产生的方波脉冲发生 4096 次电平变化. 索引道读头输出 4096 个 12 位的绝对位置信息.

同时,在增量道的对应位置分别设置 B, C 两个读头,其中,读头 B 应与索引道读头 A 在沿码盘径向方向保持一致,读头 C 在增量道上沿圆周方向与读头 B 空出四分之一周期间隔. 以 12 位的码盘为例,间隔大小为 $\pi/8192$ rad. 通过 B, C 读头可以得到与索引道绝对位置信号同步的 90° (或 270°) 相位的正余弦信号.

增量道的码盘排列保证了在读取索引道编码信号取样时正好位于光学图案的中心. 这样做有以下几方面的原因:

1) 由于循环码道采用传统的增量式编码器,准绝对式编码器的读出精度仅仅依赖于增量式码道刻线的均匀度. 而增量式编码器刻划技术的日益成熟使码盘的刻划精度更高,读头可以通过窗口光栅进行精确的读取,并通过光学技术来中和噪音,这样做可以得到更好的信号幅值.

2) 像传统的绝对式编码器一样,准绝对式编码器需要通过一个单独的窗口来读取索引道上连续的编码. 增量式码道的脉冲可以保证对索引道编码取样时索引道处于最亮或者最黑的情况,这样做会得到最大的电子噪音容限,提高了抗噪能力,同时也容许码盘和读出装置之间的有较大的机械装配偏差. 与传统的绝对式相比,码道上一个由亮到暗(或相反)跳变发生的准确角度位置对解码的可靠性和精度没有影响.

3) 由于采用了传统的增量式码道,可根据增量信号判断编码器的旋转方向,也可采用电子或软件方法对循环码道输出的正余弦信号进行细分,细分后的信号与索引道的绝对位置编码信号相结合会有效提高编码器的分辨率^[6].

受其实现原理的限制,当编码器第一次被上电时,不能立即获得绝对位置,这时候需要经过一个自引导过程. 所谓自引导过程即码盘经过一个非常小的位移来获得当前的绝对位置,位移量的大小与码盘编码的位数有关,例如 12 位的码盘,理论上需要 $(360/4096) \times 12 = 1.05^\circ$ 的位移量. 一旦获得初始位置,基于码盘的旋转方向开始就可以得到新的位置编码. 当新的编码可用,它们被传输到解码器进行

解码以获得自然二进制的绝对位置. 在解码过程中,从索引码道读取的编码被用来跟存储在只读存储器 ROM 中的预期编码进行比较. 也就是说,实际上,解码器“知道”完全的链码,并比较期望编码与检出编码,如果出现不同则报错. 通过这种方法,编码器可以实现自动的错误检测功能.

2 准绝对式光学编码器的编码原理

索引道的编码采用循环移位二进制编码. 通过循环移位读取,得到一串二进制序列. 这种编码的特点是,对于分辨率为 N 的绝对式码盘,且有 $2^{M-1} < N \leq 2^M$ (M, N 为正整数),即可以用 M 位二进制数唯一表示每一个位置,且这个二进制数列满足

1) 二进制序列共有 N 位; 2) 二进制序列首尾相连,循环移位读取; 3) 连续 M 位构成一个输出数据; 4) 连续两个输出数据只有一位不同; 5) N 位二进制数序列对应 N 个 M 位的输出数据,这些输出数据互不重复.

例如对于 $M=4, N=16$ 时,可得到一组二进制序列为 0000100110101111, 循环读取可以得到如下位置编码 0000 \rightarrow 0001 \rightarrow 0010 \rightarrow 0100 \rightarrow 1001 \rightarrow 0011 \rightarrow 0110 \rightarrow 1101 \rightarrow 1010 \rightarrow 0101 \rightarrow 1011 \rightarrow 0111 \rightarrow 1111 \rightarrow 1110 \rightarrow 1100 \rightarrow 1000. 这 16 个编码就可以表示圆周上的 16 个绝对位置,即可以获得 $360/16 = 22.5^\circ$ 的分辨率. 在 N 较大的情况下,需要借助计算机编程实现循环码的编制. 应用 C++ 语言,实现了二进制循环码的编制,最高实现了码长为 17 位,即索引道上有 $2^{17} = 131072$ 个位置的编码.

编码的设计主要是根据循环移位二进制编码的特点,先预设一个 M 位的编码做为初始码,由于相邻位置的二进制码值非 0 即 1,所以可以进行预测编码,即先给相邻的下一位置赋 0 值或 1 值,这样前 $M-1$ 位与预测位可以构成一个新的编码,将获得的编码与已知所有编码进行比较,检查是否有重复,如果某位预测值为 0 和 1 都产生重复,那么需要回退,将相邻的上位编码取反. 然后重新进行匹配检查是否重复. 重复预测编码和检查重复的步骤直到得到所有的编码. 需要指出的是,编码序列并不是唯一的,初始化时给定不同的初值,可以得到不同的编码序列,实际刻划码盘时可以根据需要选择最合适的编码序列.

其中,检查预测编码重复的问题属于程序算法中串的模式匹配问题,可以使用很多成熟的匹配算法来提高效率. 这里,设已知的所有编码为主串,预测得到的新编码为模式串. 一种典型的算法是从主串的第一个字符起和模式串的第一个字符进行比

较,若相等,则继续逐个比较后续字符,否则从主串的下一个字符起再重新和模式串的字符比较之.依次类推,直到在主串中发现模式串.这种比较简单易于实现,但是,如果编码位过长,且需要匹配的模式串中相同位较多时会出现效率低下的情况.这时可以考虑克努特-莫里斯-普拉特操作(简称为 KMP 算法).这种算法对上述算法进行了改进,效率较高^[7].

在得到所有的编码后,还需要计算循环码对应得自然二进制码的码值,以备解码时使用.

编码设计算法的流程图如图 2.

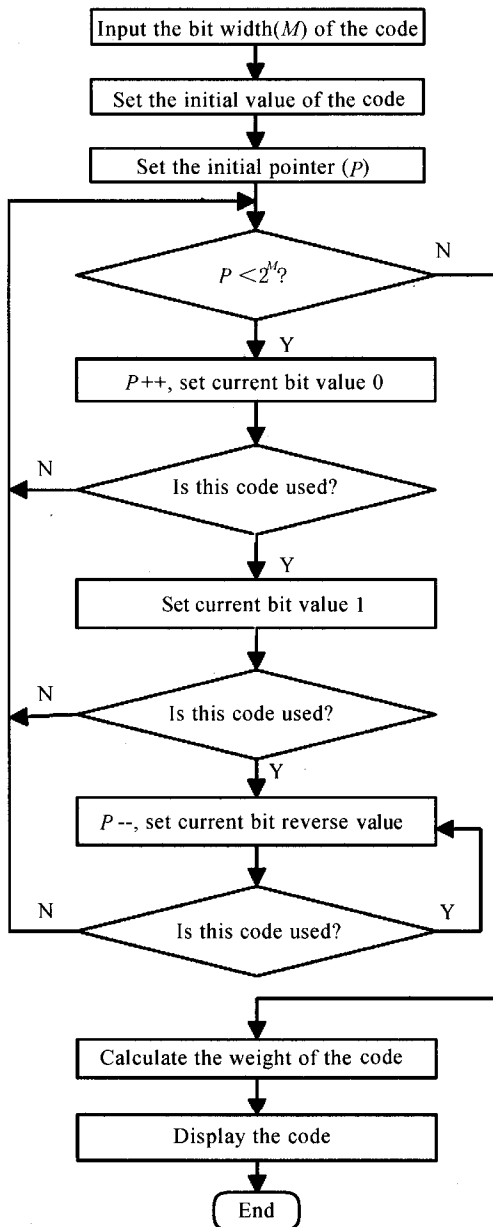


图 2 循环码编码算法流程图
Fig. 2 The Flow Chart of Coding Algorithm

3 准绝对式光学编码器的译码原理和信号输出

由于准绝对式编码器的循环码道采用了循环二

进制编码,而这种编码是一种无权码.所以信号处理电路需要像传统绝对式编码器那样对索引码道的输出信号进行译码.读头从索引码道上读出的二进制编码,首先经过整形,放大.如果是多读头,则读出的数据可以直接送译码单元;如果只有一个读头,还需要进行串行码到并行码的转换.

循环二进制编码与自然二进制编码的对应关系事先被存储在只读存储器 ROM 中.从索引码道读出的编码需要与 ROM 中存储的编码进行查询比较,来找到对应的自然二进制码值或角度值.当编码的位数比较高的时候,查询的时间会影响系统实时性的要求.这时需要改进编码在 ROM 中的存储方式以提高查询速度.可以考虑以下存储方式,将读出的循环二进制编码的码值作为 ROM 的地址值,而对应存储单元中则存储自然二进制码的码值或角度值.以四位编码为例,ROM 中对应的码表如表 1.

表 1 编码的存储方式

地址值(循环码)	自然二进制码值	地址值(循环码)	自然二进制码值
0000	0000	1010	1000
0001	0001	0101	1001
0010	0010	1011	1010
0100	0011	0111	1011
1001	0100	1111	1100
0011	0101	1110	1101
0110	0110	1100	1110
1101	0111	1000	1111

当系统读出索引码道的编码后,直接将其作为地址值送往地址总线,来获得对应自然二进制码值,其需要的时间仅为存储器寻址的时间和读取时间,省去了查询时间,可以大大提高了系统的实时性.

得到自然二进制的码值后,可以利用单片机进行编程运算来得到角度信息.以 4 位编码为例,索引道共有 16 个绝对位置,每个位置代表 $360^\circ/16=22.5^\circ$,将二进制转换为十进制并乘以单位位置代表的角度,得到了角度位置的粗值,将此粗值加上增量码道细分后得到的细分值,就可以得到最后的角度值.此值可以直接送伺服系统使用或用显示设备进行显示输出.

4 结论

准绝对式光学编码器综合了传统光学编码器的众多优点,其发展前景非常可观.本文介绍了其工作原理.并进一步对其索引码道的编码方法和译码原理进行了研究,得到了最高 17 位的串行循环二进制编码,并提出一种较好的译码方法,为工程实现奠定了基础.

参考文献

- 1 汤天瑾,曹向群,林斌. 光电轴角编码器发展现状及展望. 光学仪器,2005,27(1):90~91
Tang T J, Cao X Q, Lin B. *Optical Instruments*, 2005, 27(1):90~91
- 2 董莉莉,熊经武,万秋华. 光电轴角编码器的发展动. 光学精密工程,2000,8(2):198~200
Dong L L, Xiong J W, Wan Q H. *Optics Precision Engineering*, 2000, 8(2):198~200
- 3 郁有文. 单道绝对式光电轴角编码器. 南京师范大学学报,2003,3(1):34~35
Yu Y W. *Journal Nanjing Normal University*, 2003, 3(1):34~35
- 4 Yuji M, Nobuhiko T, Tomoharu N, et al. High-performance absolute rotary encoder using multitrack and M-code. *Opt Eng*, 2003, 42(1):124~131
- 5 罗长洲,陈良益,孙岩等. 准绝对式光学编码器. 光子学报,2003,32(5):629~630
Luo C Z, Chen L Y, Su N Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, 32(5):629~630
- 6 徐洲,胡晓东,罗长洲等. 增量式轴角编码器的电子细分和零位处理. 光子学报,2002,31(12):1497~1498
Xu Z, Hu X D, Luo C Z, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2002, 31(12):1497~1498
- 7 严蔚敏,吴伟民. 数据结构. 北京:清华大学出版社,1996. 79~84
Yan W M, Wu W M. *Data Structure*. Beijing: Tsinghua University Press, 1996. 79~84

The Coding and Decoding Theory of Virtual Absolute Encoder

Hu Xiaodong¹, Guo Liang^{1,2}, Wu Wenming^{1,2}, Zhu Lifeng^{1,2}, Che Rong^{1,2}

¹ *Laboratory of Measuring and Controlling Moving Target, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068*

² *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*

Received date: 2006-03-28

Abstract Optical encoder is the important sensor used for length and angle measurement. A new type optical encoder: virtual absolute encoder has inherited the advantage of the two old traditional ones. The principle of virtual absolute encoder has been introduced. A practical coding algorithm was designed according to the characters of the slit disk. The code design of indexing track highest to 17 bits comes true with the aid of computer aided design(CAD). A method to decode was also developed, which can convert the binary cyclic code into binary natural code, and this method furnishes the further engineering practice with the theoretical foundation.

Keywords Virtual absolute encoder; Binary cyclic code; Coding algorithm



Hu Xiaodong was born in Xi'an, Shaanxi Province. He received the Bachelor degree in the Department Information and Control Engineering in Xi'an Jiaotong University. Now he is a Professor in the Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, and majoring in photoelectricity information and signals processing, and computer control.