

文章编号 1004-924X(2003)06-0596-06

伪随机码在绝对式光电轴角编码器中的应用

罗世魁¹, 王国强¹, 王继新¹, 康福鳌², 韩柏林², 单永年³

(1. 吉林大学, 吉林 长春 130021;

2. 长春第一光学仪器厂, 吉林 长春 130022;

3. 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:介绍了中国光电轴角编码器制造业中新出现的一种绝对式编码器, 伪随机码绝对式光电轴角编码器。阐述了伪随机码绝对式光电轴角编码器的编码方法、技术要点及特点。伪随机码绝对式编码器采用 M 序列伪随机码作为编码方法, 采用双狭缝技术进行分时位置读取, 并采用 ROM 元件进行译码输出。伪随机码可以在一条码道上存储多位信息, 多位码盘只需要一条码道, 极大限度缩小了码盘直径, 为国内生产小型化的多位绝对式编码器开辟了新途径。

关键词:光电轴角编码器; 绝对式编码器; 格雷码; 矩阵码; 伪随机码

中图分类号: TP212.14 文献标识码: A

Application of pseudorandom code in absolute photoelectric angle encoder

LUO Shi-kui¹, WANG Guo-qiang¹, WANG Ji-xin¹, KANG Fu-ao²,
HAN Bai-lin², SHAN Yong-nian³

(1. Jilin University, Changchun 130021, China;

2. The First Optical Factory, Changchun 130022, China;

3. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The encoding method, the key technology and the characteristics of pseudorandom code absolute photo electric axial angle encoder are detailed. M sequence pseudorandom code is used for encoding the pseudorandom code absolute encoder, double slit technique is used to perform time sharing reading and ROM is used as the coding device. Multi-bit information can therefore be stored on a single track, using pseudorandom code.

Key words: photoelectric angle encoder; absolute encoders; Gray code; matrix code; pseudorandom code

1 引言

传统的绝对式光电轴角编码器所采用的编码方法主要是格雷码和矩阵码, 介绍一种国内光电

编码器制造业中新引进的编码方法—伪随机码。将伪随机码与传统的格雷码和矩阵码进行对比, 介绍了伪随机码在绝对式光电轴角编码器上的应用、应用特点及应用条件。

2 绝对式光电轴角编码器中的传统编码方法

2.1 绝对式光电轴角编码器的编码要求

(1) 光电轴角编码器是数字式角度检测装置,它输出的是角度数字量信息,而绝对式光电轴角编码器检出的角度值和其位置是一一对应的。这样只要其轴停在某一位置上,无论何时检测,其角度值都是唯一不变的。为了实现这一技术特征,在设计上是将全周 360° 角度信息,用编码方法固化在码盘上,即存储在码盘上。如一个 3 位绝对式轴角光电编码器,它把一个圆周分成了 $2^3 = 8$ 个位置,每个位置 $45^\circ (= 360^\circ / 8)$ 。那么就要有 8 个不同编码,每个编码对应一个位置。

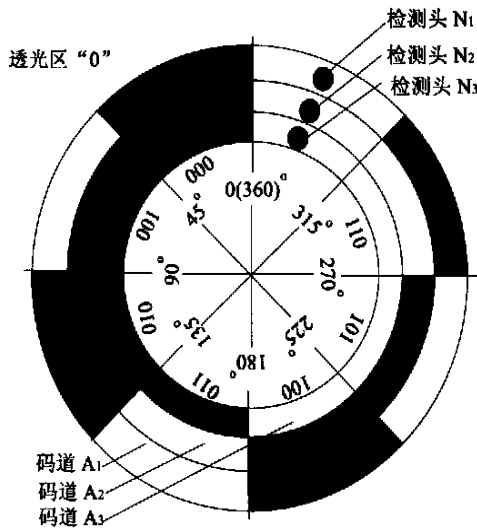


图 1 用 3 位自然二进制码刻制的绝对式码盘

Fig. 1 Absolute disk containing 3 bit natural binary codes

(2) 任何时刻,绝对式编码器的输出信号都要正确反映被检测对象的所处位置。图 1 是一个 3 位自然二进制码绝对式光电轴角编码器的简单模型,码盘上刻有码道 A_1 、 A_2 、 A_3 ,分别由检测头 N_1 、 N_2 、 N_3 检测。透光区代表二进制码“0”,不透光区代表二进制码“1”,图 2 是其输出信号波形。

从图 2 可以看到三路输出信号存在两路以上同时跳变的情况,如在 180° 处,3 个信号同时发生跳变。而实际波形的跳变不会同时进行的,三个波形必然有先后。现假设 N_1 、 N_2 的跳变是准

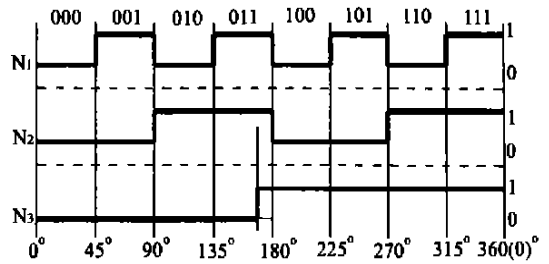


图 2 3 位自然二进制码码盘的输出信号

Fig. 2 Output signals of 3 bit natural binary code disk

时的,而 N_3 在 180° 处的跳变稍有超前(如图 2)。那末当码盘上的 135°~180° 部分的靠近 180° 处正在被检测头检测时, ($N_3 N_2 N_1$) 的值就由 011 变成 111,而它代表的位置是码盘上的 315°~360° 部分,于是输出信号不能正确反映被检测对象的所处位置。因此,自然二进制码要采取一些技术措施才能使用。如加选通信号,即在选通信号内读取角度编码值(例如刀架编码器)。

2.2 绝对式编码器中的传统编码方法

传统的绝对式编码器所采用的编码方法主要有格雷码和矩阵码^[1]。

图 3 是一个用格雷码刻制的 4 位绝对式编码器码盘。格雷码是自然二进制码的一种移位变形,它的低位码(小码)是跨在高位码(大码)的跳变点上的,因此没有两个码是同时跳变的。4 位格雷码码盘有 4 条码道,4 个检测头。因此,在用格雷码编码设计一个高精度绝对式编码器时,其

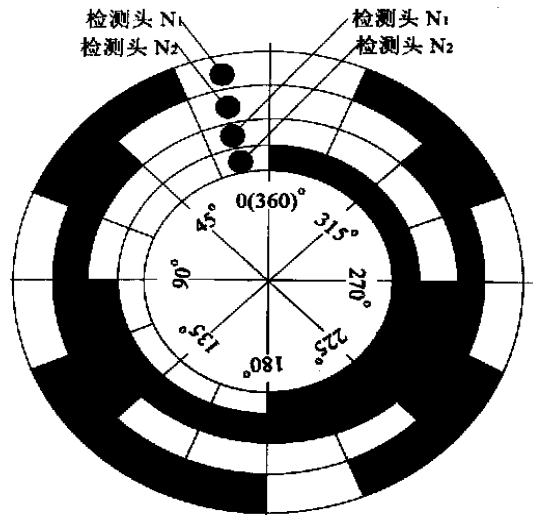


图 3 4 位格雷码绝对式编码器码盘

Fig. 3 A disk of a 4 bit absolute encoder containing Gray code

码道数往往很多,码盘径向尺寸很难减小。于是,前苏联科学家提出了分度-矩阵编码方法。

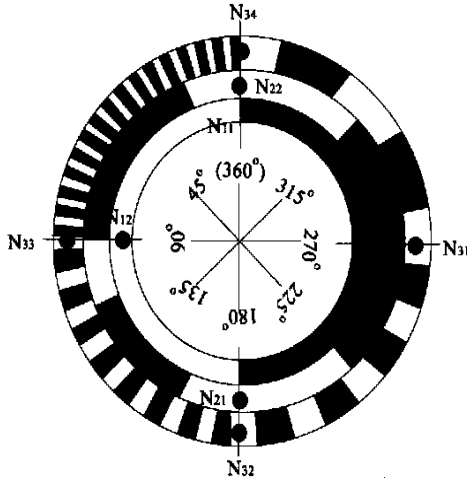


图 4 8 位矩阵码绝对式编码器码盘

Fig. 4 A disk of a 8 bit absolute encoder containing matrix code

图 4 是一个用矩阵码刻制的 8 位绝对式编码器码盘^[2]。它将码盘的码道分成若干扇区,每 1 个扇区刻制 1 位格雷码。最内码道分成 1 个扇区,刻制 1 位格雷码,放置 2 个检测头,读取 2 路信号;中间码道分成 2 个扇区,刻制 2 位格雷码,放置 2 个检测头,读取两路信号;最外码道分成 4 个扇区,刻制 4 位格雷码,放置 4 个检测头,读取 4 路信号。8 位格雷码码盘有 3 条码道,8 个检测头。

3 M 序列伪随机码

3.1 M 序列伪随机码及其生成方法

M 序列是伪随机二进制序列 (PRBS) 的一种形式,它具有循环特性和优良的代数结构,设 $X_1 X_2 \dots X_n X_{n+1} \dots$, 各元素存在下列关系: $X_i = a_1 X_{i-1} \oplus a_2 X_{i-2} \oplus \dots \oplus a_n X_{i-n}$ 。其中 $i = n + 1, n + 2, \dots$; 系数 a_1, a_2, \dots, a_{n-1} 取 0 或 1, 系数 a_n 总是 1; 算子 \oplus 表示模 2 和, 即“异或”运算^[3-4]。只要适当选取系数 a_1, a_2, \dots, a_{n-1} , 就可以使上述二元序列以 $(2^n - 1)$ 位的最长周期循环, 这种具有最长循环周期的 PRBS 就称为 M 序列。其中 $X_i = a_1 X_{i-1} \oplus a_2 X_{i-2} \oplus \dots \oplus a_n X_{i-n}$ 称为多项式生成器。

利用适当的多项式生成器可以生成 M 序列伪随机码, 例如 4 位 M 序列伪随机码 0000111101011001 可以由多项式生成器 $X_i =$

$X_{i-1} + X_{i-4}$ 生成。只是多项式生成器生成的 N 位 M 序列伪随机码的码长是 $2^N - 1$ 而不是 2^N , 并需要在适当的位置插入 1 个 0。

由该多项式生成器生成的 4 位 M 序列伪随机码是 000111101011001。生成过程如下:

先取其前 4 位为 0001, 则

第 5 位为 $X_5 = X_{5-4} + X_{5-1} = 0 + 1 = 1$

第 6 位为 $X_6 = X_{6-4} + X_{6-1} = 0 + 1 = 1$

.....

第 14 位为 $X_{14} = X_{14-4} + X_{14-1} = 0 + 0 = 0$

第 15 位为 $X_{15} = X_{15-4} + X_{15-1} = 1 + 0 = 1$

最后, 在生成的伪随机码中连续的 3 (= 4 - 1) 个 0 中再加入 1 个 0 形成所需的 4 位伪随机码 0000111101011001, 其码长为 $2^4 = 16$ 。

这一过程可以方便地由计算机编程实现。

3.2 M 序列伪随机码的特点

表 1 是 3 位 M 序列伪随机码的编码, 从中可以发现 2 个特点^[5]。

表 1 3 位 M 序列伪随机码

Tab. 1 3 bit M sequence pseudorandom code

序号	N_1	N_2	N_3
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	1
3	1	1	1
4	1	1	0
5	1	0	1
6	0	1	0
7	1	0	0

(1) 此 3 位伪随机码共有 8 个 3 位码, 序号从 0 到 7, 各个 3 位码互不相同。对应 N 位伪随机码, 最多可有 2^N 个互不相同的 N 位码。

(2) 8 个 3 位码从上到下的每一个码是由前一个码的各位向左移一位, 右面再加上一位构成的。第 1 个 3 位码可以看成第 8 个 3 位码的下一个, 从而构成循环; 在相反的方向上, 即从下到上, 每一个 3 位码是由前一个 3 位码的各位向右移一位, 左面再加上一位构成的, 第 8 个 3 位码可以看成第 1 个 3 位码的下一个, 从而构成循环。这种特点正适合几个检测头 (狭缝) 排列在同一条码道上, 并对其进行读取的形式^[6]。

其实, 仅仅根据这两个特点, 也可以通过编程

进行伪随机码的编制,只是比较费时费力。笔者初研究伪随机码绝对式编码器的时候,就是通过此途径得到的 M 序列伪随机码。

4 伪随机码在绝对式轴角光电编码器中的应用

图 5 是将表 1 中 $N_1、N_2、N_3$ 任意一列(如 N_1)刻制到码盘上,形成码道 A_1 ,码宽是 45° 。另一条码道 A_2 ,是一条 $P = 45^\circ$ 的 8 脉冲增量码道。码道 A_1 与码道 A_2 存在一定的相位关系,如图 5 所示。这是一个 5 位绝对式编码器的应用伪随机码的码盘。

$N_{11}、N_{12}、N_{13}$ 代表 3 个检测头(狭缝),与码盘的关系如图 5。当前状态,狭缝读出的码为 000,当码盘顺时针旋转 $1P$ 时,狭缝读出的码为 001,依此类推,狭缝读出的码与表 1 中的值相对应。码盘旋转一周内,狭缝 $N_{11}、N_{12}、N_{13}$ 输出 8 个互不相同的 3 位码,表征码盘的 8 个绝对位置。 $N_{11}、N_{12}、N_{13}$ 产生 5 位绝对式编码器输出的高 3 位。但这种输出的码值并不是自然二进制码或格雷码,不能应用于实际,于是引入 ROM 元件。将 $N_{11}、N_{12}、N_{13}$ 作为 ROM 的地址,将相应的自然(格雷)二进制码存储到与 $N_{11}、N_{12}、N_{13}$ 对应的存储空间中。当一组 $N_{11}、N_{12}、N_{13}$ 的值作为地址输入 ROM 中时,ROM 便输出相应的 3 位自然(格雷)二进制码,表征码盘的相应位置,如表 2 所示^[7]。

表 2 ROM 输入输出的对应关系

Tab. 2 Relationship between ROM input and output

码盘位置	$N_1 N_2 N_3$	ROM 输出
0°	0 0 0	000
90°	0 0 1	001
135°	0 1 1	010
180°	1 1 1	011
225°	1 1 0	100
270°	1 0 1	101
315°	0 1 0	110
360°	1 0 0	111

狭缝 $N_4、N_5$ 对码道 A_2 进行读取,其相互位置关系如图 5,相位相差 90° 。 N_4 和 N_5 产生 5 位绝对式编码器输出的低 2 位。

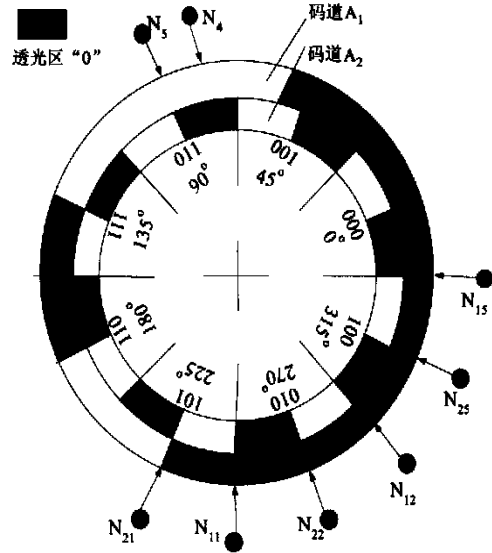


图 5 5 位伪随机码绝对式编码器码盘

Fig. 5 A disk of a 5 bit absolute encoder containing pseudorandom code

如图 5,当码盘转过一定角度的时候,可能会出现码道 1 上的 2 个甚至 3 个转换点(亮暗过渡区)同时经过狭缝 $N_{11}、N_{12}、N_{13}$ 的情况,这样不可避免地存在读码错误。为避免这种错码现象的发生,可以采用双狭缝进行读数。如图 5 所示,在与狭缝 $N_{11}、N_{12}、N_{13}$ 对应相差 90° 相位差的位置再加上一组狭缝 $N_{21}、N_{22}、N_{23}$ 。当 N_4 为 0 时, $N_{11}、N_{12}、N_{13}$ 读取的正好是码道 1 上亮码或暗码的中间 22.5° 的部分,不会读到转换点,所以取 $N_{11}、N_{12}、N_{13}$ 的值作为 ROM 的地址输入。同理,当 N_4 为 1 时,取 $N_{21}、N_{22}、N_{23}$ 的值作为 ROM 的地址输入。这样就可不读码道 1 的转换点,避免上述读码错误。

于是此 5 位绝对式编码器的最终输出信号如下:

$$(X_1, X_2, X_3) = F(N_1, N_2, N_3)$$

$$X_4 = N_4$$

$$X_5 = N_4 \oplus N_5$$

其中:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \begin{cases} N_{11} (N_4 = 0) \\ N_{21} (N_4 = 1) \end{cases} \\
 N_2 &= \begin{cases} N_{12} (N_4 = 0) \\ N_{22} (N_4 = 1) \end{cases} \\
 N_3 &= \begin{cases} N_{13} (N_4 = 0) \\ N_{23} (N_4 = 1) \end{cases}
 \end{aligned}$$

$F()$ 为 ROM 中地址输入与信号输出的对应函数关系。

X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 是此 5 位绝对式编码器的输出信号。

5 伪随机码绝对式编码器的特点

从上面的叙述可以看到： N 位格雷码绝对式编码器至少需要 N 条码道；8 位矩阵码绝对式编码器至少需要 3 条码道，随着位数的增加，码道条数要有增加。而无论多少位的伪随机码绝对式编码器都只需要 2 条到 3 条码道。这一特点的直接效果就是可以减小码盘外径，在相同分辨率下，可以制造出更小巧的编码器，而且伪随机码绝对式

参考文献：

- [1] 曹振夫. 小型绝对式矩阵编码器[J]. 光学机械, 1985, (5) :65-70.
CAO ZH F. Matrix photoelectric rotary encoder[J]. *Optical Mechanics*, 1985, (5) :65-70. (in Chinese)
- [2] 李桂霞. 矩阵码盘及其矩阵狭缝的检测[J]. 应用光学, 1997, 18(1) :37-40.
LI G X. Testing of matrix code disk and its matrix[J]. *Appl Opt*, 1997, 18(1) :37-40. (in Chinese)
- [3] 鸣瑞, 邹世开. 编码理论[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1993.
MING R, ZOU SH K. *Coding theory* [M]. Beijing:Beijing Aviation and Spaceflight Publishing Company, 1993. (in Chinese)
- [4] 肖国镇, 卿斯汉. 编码理论[M]. 北京:国防工业出版社, 1990.
XIAO G ZH, QING S H. *Coding theory* [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1990. (in Chinese)
- [5] 苏海冰, 刘恩海. 单圈绝对式编码器的研制[J]. 光学 精密工程, 2002, 10(1) :74-78.
SU H B, LIU EN H. Research on single-ring absolute encoder and its applications[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10(1) :74-78. (in Chinese)
- [6] 时轮, 郝德阜. 变栅距衍射光栅的原理及应用[J]. 光学 精密工程, 2001, 9(3) :284-287.
SHI L, HAO D F. Theory and applications of varied line space gratings[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2001, 9(3) :284-287. (in Chinese)
- [7] 方福波. 基于单片机的光纤 Bragg 光栅传感器的解调系统[J]. 光学 精密工程, 2002, 10(4) :383-387.
FANG F B. Application of a single chip microprocessor in the optical fiber Bragg grating sensor[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10(4) :383-387. (in Chinese)
- [8] 赵思宏, 范惠林. 电机转矩转速测量方法的分析[J]. 光学 精密工程, 2002, 10(3) :290-294.
ZHAO S H, FAN H L. Research on the measurement of motors, torque and rotational speed[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2002, 10(3) :290-294. (in Chinese)
- [9] 张红胜, 冯长有. 光电定角比相法检测圆光栅测量精度的提高[J]. 光学 精密工程, 2000, 8(5) :482-487.

编码器对编码器的轴系精度要求更低^[8]。

伪随机码编码器的精度主要取决于上述码道 2 的精度(两路信号), 其余信号的精度只需调整到 $\pm P/4$, 这样便大大减小了编码器的联调难度与工作量。

另外, N 位格雷码或矩阵码编码器一般只需要 N 个检测头(狭缝), 而 N 位伪随机码绝对式编码器一般则需要 $2N$ 个检测头(狭缝)^[9]。这样便增加了生产成本, 也不利于产品的小型化, 而且两组检测头之间的距离有一定的限制。如果制造高分辨率的编码器, 按照上述方法摆放检测头便无法实现, 因此必须采取一定的策略(如器件集成化等)加以解决。

6 结 论

伪随机码在绝对式编码器中的应用利弊并存, 要想发挥它的优势, 必须实现光电检测器件的集成化, 提高其集成度。伪随机码绝对式编码器虽然已经试制成功, 但要在国内形成批量生产, 还需要面对许多技术上的挑战。

ZHANG H SH, FENG CH Y. Improvement of measurement precision of circular raster by photoelectric phase-comparing method for angle positioning[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2000, 8(5):482-487. (in Chinese)

作者简介:罗世魁(1975-),男,吉林人,1999年毕业于吉林工学院,获工学学士学位,2002年入吉林大学攻读硕士学位,主要研究方向为矿山机械、建筑机械、运输机械的故障诊断。

《发光学报》

——中文核心期刊(物理学类;无线电电子学、电信技术类)

《发光学报》是中国物理学会发光分学会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分学会学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊,曾于1992年,1996年和2000年连续三次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”,并于2000年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年;美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(P)自2000年;美国《剑桥科学文摘社网站》自2002年已定期收录检索该刊论文。2001年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中,《发光学报》被评为“双效期刊”。2002年获中国科学院2001~2002年度科学出版基金“择重”资助。本刊内容丰富、信息量大,主要反映本学科专业领域的科研和技术成就,及时报道国内外的学术动态,开展学术讨论和交流,为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》将自2004年第25卷第1期始改在吉林省长春市出版、印刷和发行。

《发光学报》为双月刊,A4开本,100页,国内外公开发行。2004年国内定价:20.00元,全年120元,全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用,踊跃投稿。

地 址:长春市东南湖大路16号

《发光学报》编辑部

邮 编:130033

电 话:(0431)6176862

E-mail:fgxb@ciomp.ac.cn

国内统一刊号:CN 22-1116/O4

国际标准刊号:ISSN 1000-7032

国内邮发代号:12-312

国外发行代号:4863BM

http://www.ciomp.ac.cn