

# 22位光电矩阵编码器的单片机化

叶淑英

**摘要：**本文介绍采用 MCS-51单片机对22位光电矩阵编码器进行数据采集、插值细分、代码逻辑变换、四次校正，由此取代传统编码器电阻链细分、硬逻辑处理的复杂电路。文中给出逻辑处理方程、硬件接口电路，介绍程序设计思想。最后对编码器误差进行讨论。

## 一、引言

22位光电矩阵编码器是一种新型绝对式编码器。它采用矩阵编码，一圈码道能输出若干位，与相同位数的绝对式编码器相比，码道圈数减少，体积缩小。

MCS-51单片微计算机是目前应用较广、功能最强的8位单片机。它增强 MCS-48的功能，具有布尔处理机，便于逻辑处理。MCS-51的运行速度比 MCS-48快10倍。而将 MCS-51单片机应用于光电矩阵编码器尚属首次。

本文介绍把 MCS-51单片机应用于22位光电矩阵编码器，完成数据采集、插值细分、代码逻辑变换、四次校正，文中给出矩阵译码等逻辑方程及硬件接口电路，并介绍程序设计思想。

## 二、系统组成及工作原理

图(1)为系统组成框图。系统分光学机械及电路两部分。这里只介绍电路部分。由光

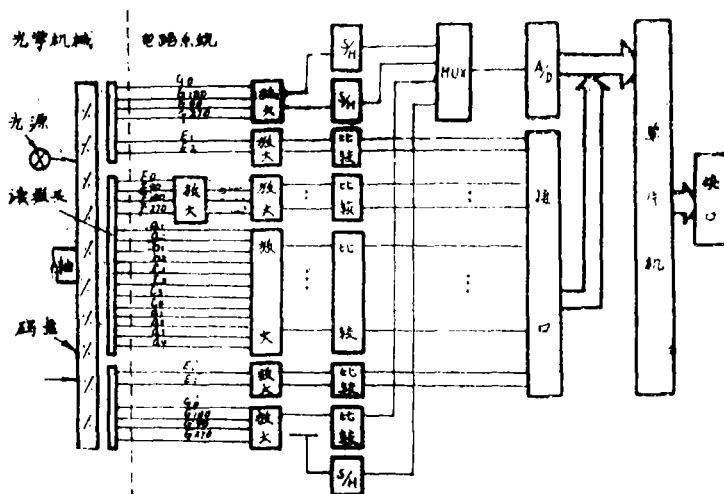


图1 系统组成框图

注：本文作者的导师为徐军

敏元件接收信号。精码 $G_0 \sim G_{270}$  ( $G'_0 \sim G'_{270}$ )经差放、S/H、模拟开关、A/D至单片机完成256细分。设差放输出 $U_1 = A \sin \theta$ 和 $U_2 = A \cos \theta$ , N为细分份数, T为细分值, 则细分方程如下:

$$T_1 = \begin{cases} \frac{N}{2\pi} \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{A \sin \theta'}{A \cos \theta'} \right) & (0 \leq \theta' < \frac{\pi}{4}) \\ \frac{N}{8} & (\theta' = \frac{\pi}{4}) \\ \frac{N}{4} - \frac{N}{2\pi} \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{A \cos \theta'}{A \sin \theta'} \right) & (\frac{\pi}{4} < \theta' \leq \frac{\pi}{2}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\theta' = \theta - \frac{K-1}{2} \pi \quad (K = 1, 2, 3, 4)$$

$$T = T_1 + C_K$$

$$C_K = \frac{K-1}{4} N \quad (K = 1, 2, 3, 4)$$

中精码 $E_1, E_2$  ( $E'_1, E'_2$ )及 $F_0 \sim F_{270}$ 经放大、比较至单片机, 由单片机逻辑处理后做为校正连接代码。矩阵码 $a_1 \sim d_4$ 经放大、比较至单片机逻辑变换为自然二进制码。先将矩阵码转换为格雷码, 其逻辑方程如下:

$$\begin{aligned} A_1 &= a_1 \\ A_2 &= a_2 \\ A_3 &= b_1 \overline{a_1} + b_2 a_1 \\ A_4 &= b_1 \overline{a_1} + b_2 a_1 \\ A_5 &= c_4 \overline{a_1} \overline{a_2} + c_3 \overline{a_1} a_2 + c_2 a_1 \overline{a_2} + c_1 a_1 a_2 \\ A_6 &= c_3 \overline{a_1} \overline{a_2} + c_2 \overline{a_1} a_2 + c_1 a_1 \overline{a_2} + c_4 a_1 a_2 \\ A_7 &= c_2 \overline{a_1} \overline{a_2} + c_1 \overline{a_1} a_2 + c_4 a_1 \overline{a_2} + c_3 a_1 a_2 \\ A_8 &= c_1 \overline{a_1} \overline{a_2} + c_4 \overline{a_1} a_2 + c_3 a_1 \overline{a_2} + c_2 a_1 a_2 \\ A_9 &= d_3 \overline{a_1} \overline{a_2} + d_2 \overline{a_1} a_2 + d_1 a_1 \overline{a_2} + d_4 a_1 a_2 \\ A_{10} &= d_2 \overline{a_1} \overline{a_2} + d_1 \overline{a_1} a_2 + d_4 a_1 \overline{a_2} + d_3 a_1 a_2 \\ A_{11} &= d_1 \overline{a_1} \overline{a_2} + d_4 \overline{a_1} a_2 + d_3 a_1 \overline{a_2} + d_2 a_1 a_2 \end{aligned} \quad (2)$$

再将格雷码 $A_n$ 转换为自然二进制码 $X_n$ , 方程如下:

$$\begin{aligned} X_1 &= A_1 \\ X_2 &= A_2 \oplus X_1 = A_2 \oplus A_1 \\ &\dots \\ X_n &= A_n \oplus X_{n-1} = A_n \oplus A_{n-1} \oplus \dots \oplus A_1 \end{aligned} \quad (3)$$

经单片机处理后的精码与粗码是不连续的自然二进制码, 需通过校正连接成连续变化的自然二进制码。所谓校正就是用精码来发现并修正粗码出现的偏差。本系统采用奇偶校正原理。设 $B_0$ 为精码,  $X_n$ 为被校码, F为校正码,  $B_1$ 为校控码, 则校正关系如下:

$$\Sigma B_0 F X_n = \begin{cases} \text{偶数} & \text{不需校正} \\ \text{奇数且 } B_1 = 0 & B_0 = 1 \text{ 减1校正} \\ & B_0 = 0 \text{ 加1校正} \end{cases} \quad (4)$$

(模2相加)

单片机处理后的连续自然二进制码即可输出, 也可根据需要转换为度、分、秒角度值输出。

### 三、单片机接口电路及系统程序设计

本系统采用8031做主机。其接口电路如图2。为了方便单片机逻辑处理,将输入信号分为 $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, c_3, c_4, a_1, a_2, d_1, d_2, d_3, d_4, E_1, E_2, F_{45}, F_{90}, F_{135}, F_{180}$ 及 $E_1', E_2', F_{45}, F_{90}, F_{135}, F_{180}$ 四组分别从四个锁存器送至单片机。因为系统程序大量采用查表技术所需内存较多,所以采用4K的EPROM2732为程序存储器。由273输出自然二进制码(最高2位为第四次校正标志)。

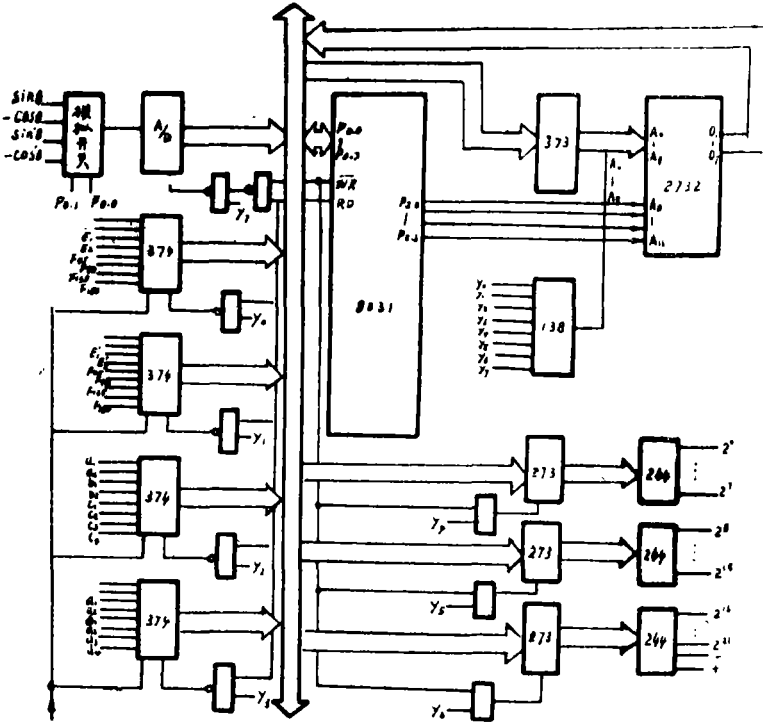


图2 单片机硬件接口电路

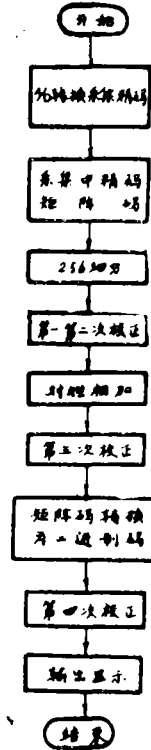


图3是系统程序框图。细分程序的设计是根据细分方程,采用计算查表法。首先计算 $\frac{A \sin \theta}{A \cos \theta}$ 的值,然后查表得细分值。矩阵码到二进制码的转换,根据逻辑方程(2)和(3)首先矩阵码要转换为格雷码,格雷码再转换为二进制码。设计时考虑它们之间的对应关系采用查表法,由矩阵码直接对应二进制码。粗码有11位,所以分成两个表。 $a_1 \sim c_4$ 对应 $x_1 \sim x_8$ 。将 $x_9$ 与 $a_1 \sim d_4$ 组合对应 $x_9, x_{10}, A_{11}$ ( $A_{11}$ 校正用),这样将二次查表值就联结起来,程序如左下。

本系统采用四次校正技术。四次校正关系如表1。第一第二次校正查表1次完成。第三第四次校正则根据方程(4)直接运算。由于8031有很强的位处理功能,所以处理并不复杂。

图3 系统程序框图

```

jz: mov dptr, *8c00h*
    mov a, 24h
    movc a, a + dptr
    mov 2eh, a
    jnb acc. 0, jn3
    setb 2eh
jn3: mov dptr, *8d00h*
    mov a, 25h
    movc a, a + dptr
    mov 2fh, a
    
```

\* 8C00H, 8D00H是表基址

表 1

校 正	一	二	三	四
$B_1$	$G_{00}$	$E_1$	$X_{12平} \oplus X_{13平}$	$X_{11F}(\text{精}) \oplus X_{12平}$
$B_0$	$X_{14}$	$X_{13L}(\text{一校后})$	$X_{12平}$	$X_{11F}(\text{精})$
$X_m \oplus F$	$E_2 \oplus E_1$	$X_{12F} \oplus (F_{45} \oplus F_{136})$	$X_{12F}(\text{二校后})$	$X_{10} \oplus A_{11}$
$X_m$	$E_2(x_{13F})$	$X_{12F}$	$X_{11F}(\text{二校后})$	$X_{10}$

### 四、误差分析

编码器误差由码盘刻划误差、细分误差及量化误差组成。刻划误差及量化误差是系统固有误差不可消除。细分误差主要有五种，下面分别给出其表达式。

1. 信号非正交产生细分误差：

$$\Delta\theta_1 = a \cos^2\theta \quad a \text{ 为偏离正交的角度}$$

2. 信号非正弦产生细分误差：

$$\Delta\theta_2 = \frac{A_{2m}}{A} \sin 3\theta \quad A_{2m} \text{ 为二次谐波振幅}$$

$$\Delta\theta_3 = \frac{A_{3m}}{A} \sin 4\theta \quad A_{3m} \text{ 为三次谐波振幅}$$

3. 信号不等幅产生细分误差：

$$\Delta\theta_4 = \frac{1}{2} (A - B) / A \cdot \sin 2\theta$$

4. 剩余直流电平产生细分误差：

$$\Delta\theta_5 = \sqrt{2} A_0 / A \cdot \cos(\theta + \frac{\pi}{4}) A_0 \text{ 直流电平}$$

5. A/D器件误差：在 $\sin\theta$ 和 $\cos\theta$ 交点处A/D产生细分误差最大。

本系统为 256 细分，量化误差  $\Delta\theta_6 = \frac{360^\circ}{2 \times 256} = 0.7^\circ$ 。将细分误差与量化误差转换为编码器测角误差，最后求系统总误差：

$$\sigma_{\text{总}} = \sqrt{\sigma_{\text{刻}}^2 + \sigma_{\text{细}}^2 + \sigma_{\text{量}}^2}$$

### 五、结 束 语

22位光电矩阵编码器的单片机化，使它除保留绝对式编码器具有固定起始点、读数可靠等优点外，还具有自己的特点。它采用软件细分代替传统的电阻链细分，提高了角分辨率及测角精度。逻辑处理的软化使编码器电路结构简单，体积缩小，成本降低，工作性能可靠，维修方便。

参 文 摘 献

- [1] 曹振夫, 光学机械, 1985, 5, P65—70
- [2], 张彤, 王作彬, 光学机械, 1985, 2, P43—48

22Bits Electro-optical Matrix Encoder Adoped Sigle  
Chip Microcomputer

Ye Shuying

Abstract

This paper introduces that MCS-51 sigle chip microcomputer is adoped for 22 bits electro-optical matrix encoder to perform data acquisition, interpolation, code logic transform and four correction. As a result of this treatment, complex circuit of interpolation with a chain of resistance and hard logic process for traditional encoder is replaced. The logic equation and circuit diagram of hardware interface is given and the idea of program design is introduced. Finally, the encoder error is discussed.

参 考 文 献

曹振夫, 光学机械, 1985, 5, P65—70  
张彤, 王作彬, 光学机械, 1985, 2, P43—48