

# 微型计算机在莫尔条纹 信号细分中的应用

张 彤 王作斌

(长春光机学院)

**摘要:** 本文根据微型计算机的特点,提出了用“计算法”对莫尔条纹信号进行细分的原理,导出了计算细分值的表达式,在此基础上介绍了以TP801单板机为核心,完成64细分的实时数据采集与处理系统的组成、工作原理以及TP801单板机的工作程序,并对实验结果进行了分析和讨论。实验结果表明:用微型计算机完成莫尔条纹信号细分是可行的。

## 一、前 言

科学技术的不断发展,对光栅式计量仪器的分辨率提出了更高的要求。由于光栅制造和使用条件的限制,单纯依靠光栅本身来提高计量系统的分辨率难以实现,所以目前广泛采用细分技术来提高光栅式计量仪器的分辨率,例如电子学细分方法有移相电阻链法和幅值切割法等。这些传统的电子学细分方法在细分份数较多时,电路很复杂且成本也相对提高。微型计算机的迅猛发展,导致了仪器仪表的微机化与智能化。如果在光栅式计量仪器中,不仅用微型计算机对数据进行实时处理和误差修正,而且用微型计算机完成细分,则仪器的性能就会得到较大的提高和改善,微型计算机的功能也得到了充分的利用。

本文首先介绍了用“计算法”对莫尔条纹信号进行细分的原理,然后介绍了一个以TP801单板机为核心,完成64细分的实时数据采集与处理系统的组成,工作原理以及TP801单板机的工作程序,并对实验结果进行了分析和讨论。

## 二、“计算法”细分原理

传统的电子学细分方法种类繁多,一般可区分为下面两种类型:幅度调制型和相位调制型。幅度调制型是通过莫尔条纹信号的幅度变化判定相位差从而决定位移;相位调制型是通过莫尔条纹信号的相位差来决定位移的。显然,如果信号的幅度恒定,就可以通过A/D变换用微型计算机确定位移,但实际上信号的幅度是受电源波动、光强、速度、温度等因素的影响而变化的,因此无法准确得到位移信息。经过分析我们发现,莫尔条纹信号的正弦量与余弦量的比值即 $(A \sin \theta)/(A \cos \theta) = \operatorname{tg} \theta$  (式中A表示信号的幅度)基本上消除了幅度波动的影响,同时又隐含了确定的位移信息。由于微型计算机具有很强的运算能力,因此可以通过计算 $\operatorname{arctg}(A \sin \theta/A \cos \theta)$ 求出相角 $\theta$ 从而确定位移。如果令N代表细分份数, $T_N$ 代表某一相角 $\theta$ 所对应的细分值,则

$$T_N = \frac{N}{2\pi} \operatorname{arctg} \left( \frac{A \sin \theta}{A \cos \theta} \right) \quad (1')$$

对式 (1) 的计算可分为以下两个步骤:

1. 由于  $T_N$  表达式中  $\text{arctg}(A \sin \theta / A \cos \theta)$  是个多值函数, 而细分是针对一个莫尔条纹信号周期而言, 所以首先需要在  $0 \sim 2\pi$  相角范围内把  $T_N$  处理成单值函数。从图 1 所示  $A \sin \theta$  和  $A \cos \theta$  的波形图, 我们可得出  $A \sin \theta$  和  $A \cos \theta$  的正负号与各象限的对应关系, 如表 1 所示。计算机根据  $A \sin \theta$  和  $A \cos \theta$  的正负号就能判断出相角  $\theta$  在哪个象限, 并确定象限细

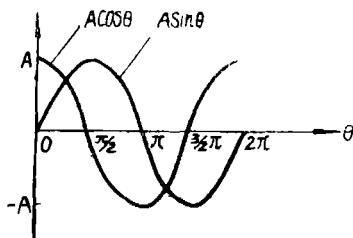


图 1

表 1

象 限 函 数	I	II	III	IV
$A \sin \theta$	+	+	-	-
$A \cos \theta$	+	-	-	+

分常数。确定了象限细分常数之后, 根据坐标变换原理计算机把其他象限都按 I 象限的方法处理。图 2 给出了  $|A \sin \theta|$  和  $|A \cos \theta|$  的图形。若用  $T_{NI}$  代表 I 象限细分值,  $C_1, C_2, C_3, C_4$  分别代表 I、II、III、IV 象限细分常数, 则有下列表达式:

$$T_{NI} = \frac{N}{2\pi} \text{arctg} \left( \frac{A \sin \theta'}{A \cos \theta'} \right) \quad (2)$$

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

$$T_N = T_{NI} + C_K \quad (4)$$

$$C_K = \begin{cases} 0 & (K=1) \\ \frac{N}{4} & (K=2) \\ \frac{N}{2} & (K=3) \\ \frac{3N}{4} & (K=4) \end{cases} \quad (5)$$

根据式 (4) 按象限计算细分值  $T_N$ ,  $T_N$  就变为单值函数。

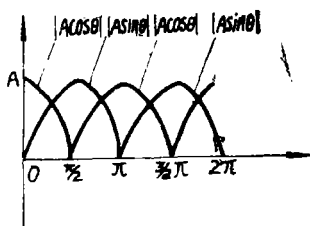


图 2

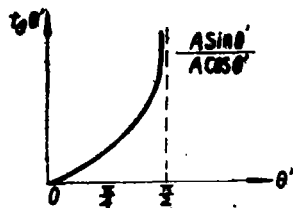


图 3

2. 由式 (4) 计算  $T_N$  较式 (1) 更为明确一些。但从  $(A \sin \theta') / (A \cos \theta')$  随  $\theta'$  变化的曲线 (如图 3 所示) 可知当  $\theta'$  在  $\pi/2$  附近时  $(A \sin \theta') / (A \cos \theta')$  变化较大, 尤其是当

$\theta' \rightarrow \frac{\pi}{2}$  时,  $(A \sin \theta') / (A \cos \theta') \rightarrow \infty$  时计算机就要产生“溢出”,不能运算。为此,把 I 象限分为  $0 \sim \frac{\pi}{4}$ ,  $\frac{\pi}{4} \sim \frac{\pi}{2}$  两个区间,用计算机判断  $A \sin \theta'$  和  $A \cos \theta'$  的大小,分三种情况计算:

- (1)  $A \sin \theta' < A \cos \theta'$ , 即  $0 \leq \theta' < \frac{\pi}{4}$  时,  $T_N$  由式(2)和式(4)可求出。
- (2)  $A \sin \theta' = A \cos \theta'$ , 即  $\theta' = \frac{\pi}{4}$  时, 由式(2)和式(4)得  $T_{N1} = \frac{N}{8}$  及  $T_N = \frac{N}{8} + C_K$
- (3)  $A \sin \theta' > A \cos \theta'$ , 即  $\frac{\pi}{4} < \theta' \leq \frac{\pi}{2}$  时, 先计算  $(A \cos \theta') / (A \sin \theta')$ , 由公式

$$\text{arctg} \left( \frac{A \cos \theta'}{A \sin \theta'} \right) + \text{arctctg} \left( \frac{A \cos \theta'}{A \sin \theta'} \right) = \frac{\pi}{2}$$

可推导出

$$\theta' = \frac{\pi}{2} - \text{arctg} \left( \frac{A \cos \theta'}{A \sin \theta'} \right)$$

所以

$$T_{N1} = \frac{N}{2\pi} \theta' = \frac{N}{4} - \frac{N}{2\pi} \text{arctg} \left( \frac{A \cos \theta'}{A \sin \theta'} \right)$$

$$T_N = T_{N1} + C_K$$

综合上述三种情况可得下式:

$$T_{N1} = \begin{cases} \frac{N}{2\pi} \text{arctg} \left( \frac{A \sin \theta'}{A \cos \theta'} \right) & \left( 0 \leq \theta' < \frac{\pi}{4} \right) \\ \frac{N}{8} & \left( \theta' = \frac{\pi}{4} \right) \\ \frac{N}{4} - \frac{N}{2\pi} \text{arctg} \left( \frac{A \cos \theta'}{A \sin \theta'} \right) & \left( \frac{\pi}{4} < \theta' \leq \frac{\pi}{2} \right) \end{cases} \quad (6)$$

由式(3)、(4)、(5)、(6)可得  $0 \sim 2\pi$  相角范围内任一  $\theta$  所对应的细分值, 其表达式由表 2 详细给出。

表 2

象限	相 角 范 围	细分值 $T_N$ 的计算表达式
I	$0 \leq \theta < \frac{\pi}{4}$	$\left( \frac{N}{2\pi} \right) \text{arctg} \left( \frac{A \sin \theta}{A \cos \theta} \right)$
	$\theta = \frac{\pi}{4}$	$\frac{N}{8}$
	$\frac{\pi}{4} < \theta \leq \frac{\pi}{2}$	$\frac{N}{4} - \left( \frac{N}{2\pi} \right) \text{arctg} \left( \frac{A \cos \theta}{A \sin \theta} \right)$
II	$\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3}{4} \pi$	$\frac{N}{4} + \left( \frac{N}{2\pi} \right) \text{arctg} \left( \frac{ A \cos \theta }{A \sin \theta} \right)$
	$\theta = \frac{3}{4} \pi$	$\frac{3}{8} N$
	$\frac{3}{4} \pi < \theta \leq \pi$	$\frac{N}{2} - \left( \frac{N}{2\pi} \right) \text{arctg} \left( \frac{A \sin \theta}{ A \cos \theta } \right)$

续表

III	$\pi < \theta < \frac{5}{4}\pi$	$\frac{N}{2} + \left(\frac{N}{2\pi}\right) \arctg \left  \frac{A \sin \theta}{A \cos \theta} \right $
	$\theta = \frac{5}{4}\pi$	$\frac{5}{8}N$
IV	$\frac{5}{4}\pi < \theta < \frac{3}{2}\pi$	$\frac{3}{4}N - \left(\frac{N}{2\pi}\right) \arctg \left  \frac{A \cos \theta}{A \sin \theta} \right $
	$\frac{3}{2}\pi \leq \theta < \frac{7}{4}\pi$	$\frac{3}{4}N + \left(\frac{N}{2\pi}\right) \arctg \left( \frac{A \cos \theta}{ A \sin \theta } \right)$
	$\theta = \frac{7}{4}\pi$	$\frac{7}{8}N$
	$\frac{7}{4}\pi < \theta < 2\pi$	$N - \left(\frac{N}{2\pi}\right) \arctg \left( \frac{ A \sin \theta }{A \cos \theta} \right)$

上面我们比较详细地讨论了用微型计算机完成莫尔条纹信号细分的方法，由于细分值是靠计算机“计算”求得的，所以把这种细分方法称为“算法”，它实际上属于幅度调制型。根据上述原理，我们从科研的实际出发，设计了以TP801单板机为核心的实时数据采集和处理系统，细分份数 $N = 46$ 。

### 三、系统的组成及工作原理

系统的组成如图4所示。本系统是以TP801单板机为核心，完成64细分的实时数据采集

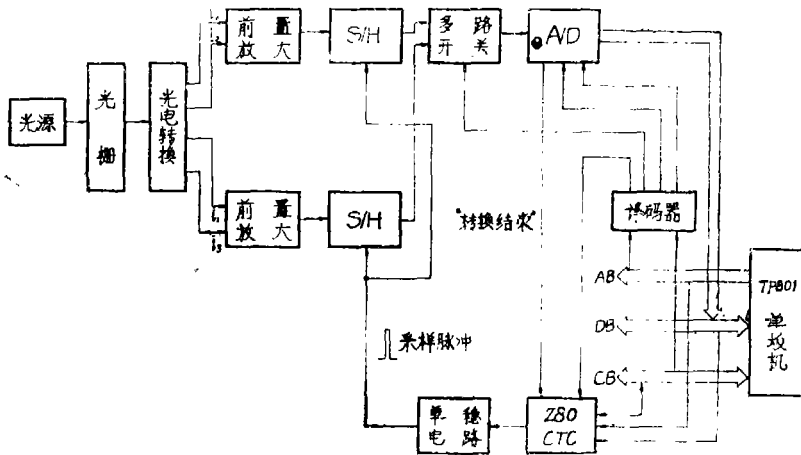


图 4

集与处理系统。图中光电转换是由四个光电三极管完成的，信号 $i_0, i_1, i_2, i_3$ 是四个光电三极管输出的光电流信号，通过适当调整四个光电三极管的位置，使它们所检取的莫尔条纹信号相位依次差 $\pi/2$ 。 $i_0, i_1, i_2, i_3$ 的波形如图5所示，其中 $I_0, I_1, I_2, I_3$ 为直流分量。将相位差为 $\pi$ 的 $i_0$ 与 $i_2, i_1$ 与 $i_3$ 分别接成推挽差接式前置放大电路，电路如图6所示。该电路的优点是能基本上消除信号中的直流分量和偶次谐波，使信号更接近于正弦。实际调整要保证两路输出信号的幅度相等且变化要保持一致，以减小细分误差。前置放大电路的输出 $A \sin \theta$ 和 $A \cos \theta$ 就是“算法”细分所需要的两个信号。

在本系统中，Z80-CTC作为计数和定时电路，记为2\*CTC。把2\*CTC的0通道设置在允许中断、外触发计数器方式；1通道和2通道级联作定时器，其中1通道工作在禁止中断、自动定时器方式；2通道工作在允许中断、外触发计数器方式。系统初始化以后，每次定时

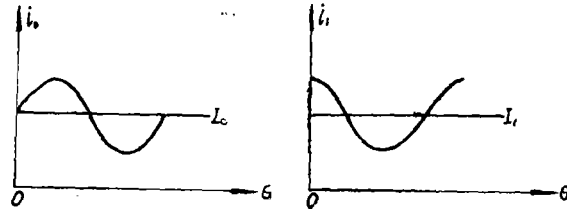


图 5

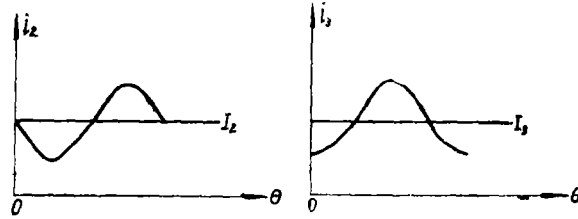


图 6

时间到都由 $2 \cdot CTC$ 的 $ZC/TO_2$ 信号端发出一个有效信号以控制单稳电路发出采样保持器所需要的采样脉冲,在采样脉冲的作用下,采样保持器(S/H)对 $A \sin \theta$ 和 $A \cos \theta$ 两路信号同时进行采样,并且保持所采集的 $A \sin \theta$ 和 $A \cos \theta$ 的瞬时值。在 $2 \cdot CTC$ 的 $ZC/TO_2$ 信号端发出有效

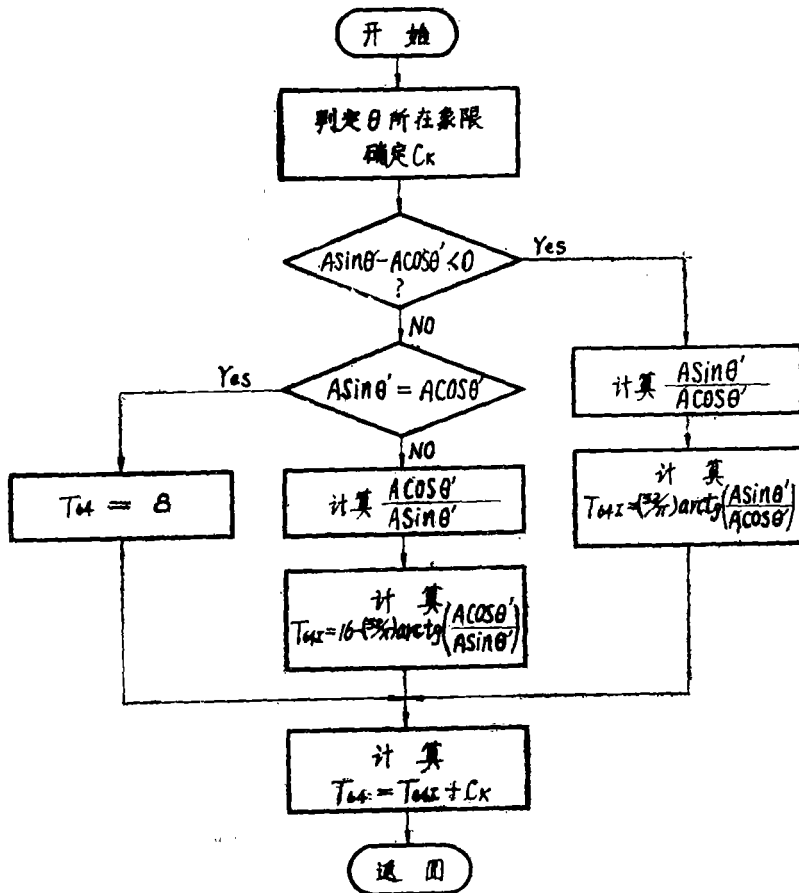


图 7

信号的同时,  $2^*CTC$ 向CPU发出中断请求, CPU响应中断, 执行  $2^*CTC_2$ 的中断服务程序控制多路开关首先选择一路进行A/D转换。A/D转换结束以后, 发出“转换结束”信号, 该信号作用于 $2^*CTC$ 的CLK/TRG<sub>0</sub>信号端使计数器减1回零, 向CPU发出中断请求, CPU响应中断, 执行  $2^*CTC_0$ 中断服务程序再选择另一路进行A/D转换。经过两次A/D转换, 就把  $A \sin \theta$ 和  $A \cos \theta$ 信号在采样时刻的瞬时值变为数字量并且输入TP801单板机。令  $N = 64$ , 计算机就可根据表2计算出采样时刻的细分值, 从而完成了64细分。

在系统中我们只用了一片A/D转换器, 由多路开关控制对两路模拟电压信号分时进行转换, 省了一片A/D转换器, 降低了系统的成本。在速度要求较高时可应用两片A/D转换器同时工作, 也可考虑用高速A/D转换器。

## 四、TP801 单板机的工作程序

为了使TP801单板机完成数据的采集、细分值  $T_{64}$ 的计算和结果显示任务, 我们用Z80汇编语言编写了系统的初始化程序、 $2^*CTC_2$ 中断服务程序、 $2^*CTC_0$ 中断服务程序、计算细分值子程序  $T_{64}$ 和显示子程序。实际测试证明上述程序是可行的, 整个程序占用689个内存单元, 从数据的采集到求出细分值  $T_{64}$ 需要时间最长为  $493 \mu s$ 。由于程序较长, 限于篇幅在此不做详细介绍, 仅给出主要程序即求细分值子程序  $T_{64}$ 的流程图, 如图7所示。

## 五、实验结果及分析

在实际测试过程中TP801单板机在接口电路的配合下能够可靠地完成数据的采集、细分值  $T_{64}$ 的计算和结果显示任务。对于  $0 \sim 360^\circ$ 相角范围内的每一个细分点, 上述系统都能准确地给出该点所对应的细分值, 实测最大相角误差为  $\pm 0.67^\circ$ 。

通过实验分析, 我们认为就计算机和接口电路本身来讲, 误差主要来源于采样保持器和A/D转换器。因此在实际设计时应根据具体系统的信号频率范围、信号幅度波动范围、细分份数和细分精度的要求, 通过选择合适的采样保持器和A/D转换器就可以使误差在所允许的范围内。

## 六、结 束 语

实验结果表明: 用微型计算机完成莫尔条纹信号的细分是可行的。与传统的电子学细分方法相比其优点是电路设计简单、成本低、调试容易, 提高细分份数不会导致电路的复杂化, 有利于提高光栅式计量仪器的分辨率。对于系统中有规律的误差, 用微型计算机进行误差修正可以提高系统的细分精度。

### 参 考 文 献

- [1] 浙江大学光仪专业, 光仪系刻度组编, 《莫尔条纹的电子学细分》, 1976, 7。
- [2] 长春光机所等编, 《光学轴角编码器技术资料汇编》, 1983, 8。
- [3] 强锡富主编, 《几何量电测量仪》, 机械工业出版社, 1981, 7。
- [4] 王因明主编, 《光学计量仪器设计》(上册), 机械工业出版社, 1982, 2。