

# 用微机对光栅位移量进行快速、精确测量

王文明 卢江滨

## 摘 要

本文根据微机的特点,提出了用快速“查表法”对莫尔条纹信号进行电子细分的原理和一套完整的方法,测量的精度主要取决于光栅信号的质量。以此为基础,详细介绍了以TP-801单板机为核心完成40细分的实时数据采集与处理系统的组成,工作原理及微机算法程序。实验结果表明:用“查表法”可以对光栅位移量进行快速而精确地测量。

【关键词】 莫尔条纹; 细分; 测量

## 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计量仪器的分辨率<sup>[1]</sup>。例如电子学细分方法中使用最普遍的是移相电阻链法和幅值切割法,但这些传统的方法,在细分份数较多时,电路非常复杂且成本也相应提高。微型机的迅猛发展,导致了仪器的智能化,在许多量测仪器中都具有计算机数据处理系统。如果利用计算机系统完成光栅莫尔条纹的细分,不但可以提高仪器的性能,而且还可以充分利用微型计算机的功能。

现有的微机细分法都是利用A/D变换,计算机采集数据,计算出相位来确定位移<sup>[3]</sup>。这些方法软件复杂,运行时间长,对光栅的运动速度有着很大的限制,且不易推广使用。

本文将介绍一种用简单的四倍频电路和单板机结合完成莫尔条纹细分的方法,它是一种快速而精确地测量莫尔条纹位移量的细分方法。

## 二、“查表法”细分原理

本文介绍的细分方法属于幅值细分法,它利用莫尔条纹信号的幅度和相位的严格关系来确定位移量。用简单的四倍频电路和计算机结合,既能够可靠地完成细分,又能够使程序简

本文1987年7月收到。

单，执行速度大大提高。下面介绍具体细分方法。

### 1. 四倍频电路完成莫尔条纹的粗测

图1是一种四细分电路原理图。在一个莫尔条纹宽度内，按一定间隔适当地放置四个光电元件，使这四个光电元件输出的信号相位依次差 $90^\circ$ 。设这四个信号分别为 $DG_1$ ， $DG_2$ ， $DG_3$ ， $DG_4$ ，用运算放大器对这四个信号进行差分放大。得到四路输出信号分别为 $Asin\theta$ ， $Acos\theta$ ， $-Asin\theta$ ， $-Acos\theta$ ，各自送到鉴零器整形成方波。鉴零器用来鉴取莫尔条纹信号的零值，即在信号的过零点上触发，获得和输入信号过零点相对应的方波 $t_1$ ， $t_2$ ， $t_3$ ， $t_4$ ，这样便在信号的一个周期内发出四个计数脉冲，实现了四细分。鉴零器的输出再经过微分电路WF，得到脉冲信号 $P_1$ ， $P_2$ ， $P_3$ ， $P_4$ 。将 $t_1$ ， $t_2$ ， $t_3$ ， $t_4$ 及 $P_1$ ， $P_2$ ， $P_3$ ， $P_4$ 按下面方程进行逻辑组合，便得到可逆计数的加计数脉冲 $Q_+$ ，减计数脉冲 $Q_-$ 和主计数脉冲 $Q$ ：

$$Q_+ = t_1 P_4 + t_2 P_1 + t_3 P_2 + t_4 P_3$$

$$Q_- = t_1 P_2 + t_2 P_3 + t_3 P_4 + t_4 P_1$$

$$Q = Q_+ + Q_-$$

由于四倍频细分线路及原理都非常简单，而且目前已广泛应用，不再赘述。

经过四细分电路便得到脉冲当量为 $d/4$ 的计数脉冲（ $d$ 为栅距），将 $Q_+$ 和 $Q_-$ 分别接到微型机PIO的A口，置PIOA口为允许中断或操作方式。当产生 $Q_+$ 或 $Q_-$ 时申请中断，然后由微机来识别是 $Q_+$ 或是 $Q_-$ ，完成对四细分计数脉冲的可逆计数。由于中断程序非常简单，完成一次计数仅为 $25\mu s$ ，其计数频率高于 $20KHz$ ，这对于光栅的运动速度几乎没有限制。

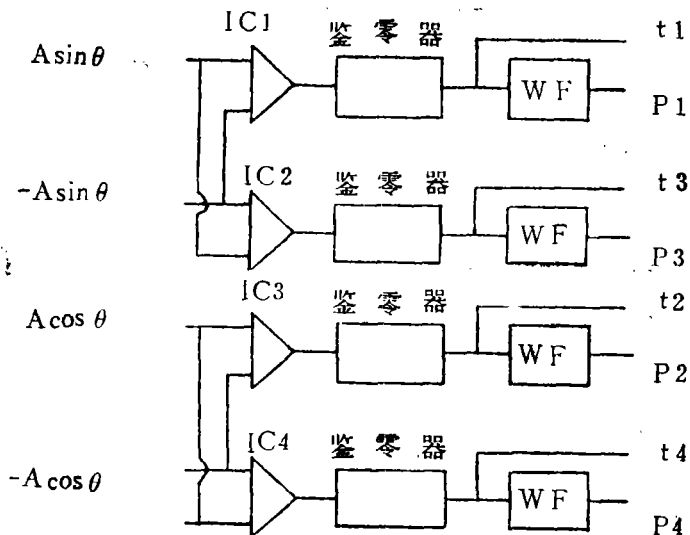


图1 四频倍电路

### 2. 用“查表法”完成莫尔条纹的精测

由于此方法的细分值是靠计算机查表获得的，所以把这种细分方法称为“查表法”，它实际上是利用获得的幅值计算出光栅的位移量的。显然，如果信号的幅度恒定，就可以通过A/D变换，用微机确定位移。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  $Asin\theta/Acos\theta = tg\theta$ （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关系信息。所以我们利用位移量和 $tg\theta$ 的关系列出对应关系

表，存贮在微机的内存中。当光栅运动时，由计算机求得  $\text{tg}\theta$  值，查表获得精测细分位移值。理论分析和实验结果证明此方法是切实可行的。下面以40细分为例具体介绍“查表法”。

1) 由光栅产生的信号经差分放大后，便可获得相位差 $90^\circ$ 的两路信号  $U_{scA}$ 和 $U_{scB}$ ，如图2所示。

在同时采样 $A\sin\theta$ 和 $A\cos\theta$ 时，微机对所采集数值进行判别。每当  $A\sin\theta$ 和 $A\cos\theta$  为小于零的数值时，将其转变成符号相反绝对值相等的数值，即得到了  $|A\sin\theta|$  和  $|A\cos\theta|$ （信号经微机处理以后应为离散信号，但为简单说明问题，统一用连续信号表示），如图3所示。

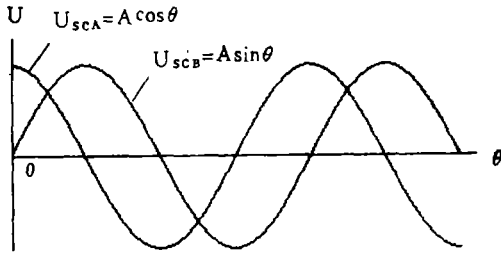


图2 光栅莫尔条纹信号

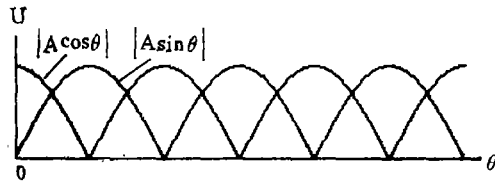


图3 光栅信号的绝对值

得到了  $|A\sin\theta|$  和  $|A\cos\theta|$  以后，用  $|A\sin\theta| / |A\cos\theta|$  可以获得  $\text{tg}\theta$  值。但由于  $\text{tg}\theta$  在  $\theta \rightarrow \frac{\pi}{2}$  时趋向无穷大，计算机会产生“溢出”，无法得到正确的结果。所以必须将  $|A\sin\theta|$  和  $|A\cos\theta|$  分成两种情况处理：

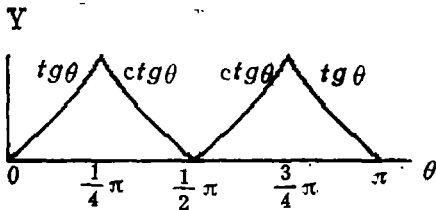


图4 微机处理信号

- (1)  $|A\sin\theta| < |A\cos\theta|$  时 ( $0 \leq \theta < \pi/4$ ) 用  $|A\sin\theta| / |A\cos\theta|$ ;
- (2)  $|A\sin\theta| > |A\cos\theta|$  时 ( $\pi/4 \leq \theta \leq \pi/2$ ) 用  $|A\cos\theta| / |A\sin\theta|$ .

通过上述一系列处理，我们获得了如图4所示的信号，它是以  $\pi$  为周期的重复信号。此信号隐含了确定的位移信息。如对莫尔条纹进行40细分，则在  $0 \sim \pi/2$  区间对信号进行10细分，如图5所示。

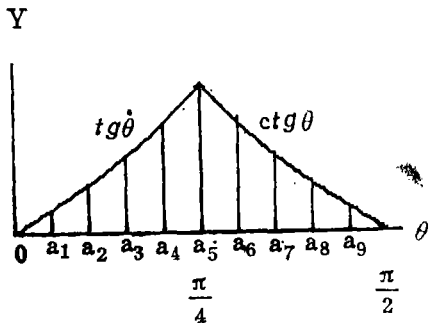


图5 细分示意图

我们能够很容易地求得细分点 ( $a_1 \sim a_9$ ) 处位移和幅度标准值之间的关系，通过实验进行校正，依据  $\theta$  和幅度标准值的关系列出对应表，存入计算机以供查找。每当  $a_1 \leq \theta < a_2$  时查表获得  $a_1$  对应的位移值，其它各点方法一样。通过以上方法完成了对信号的40细分。

2) 四细分粗测值和40细分精测值的链接

由于“查表法”是一种软硬件结合分

别获得粗测值和40细分精测值，所以必须将它们链接起来。为说明此问题，我们还是从信号的波形着手，信号的波形如图6所示。

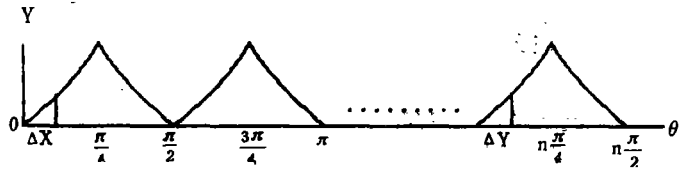


图6 测量位移原理图

设光栅运动之前的40细分初值为 $\Delta X$ ，光栅停止运

动时40细分终值为 $\Delta Y$ ，四细分的粗测值为 $IY$ （设 $IY \geq 0$ ），则光栅运动总的位移量为 $D = IY + (\Delta Y - \Delta X)$ 。故每当计算机获得 $\Delta X$ ， $\Delta Y$ ， $IY$ 后马上能够测出实际的位移量 $D$ 。当 $IY$ 小于零时，链接方法类似，不再重述。

### 三、系统的组成及工作原理

系统的组成如图7所示。本系统是以TP—801单板机为核心，完成40细分的实时数据采集与处理系统的。若将此系统应用于仪器上，可以很方便地将TP—801换成一单片机。

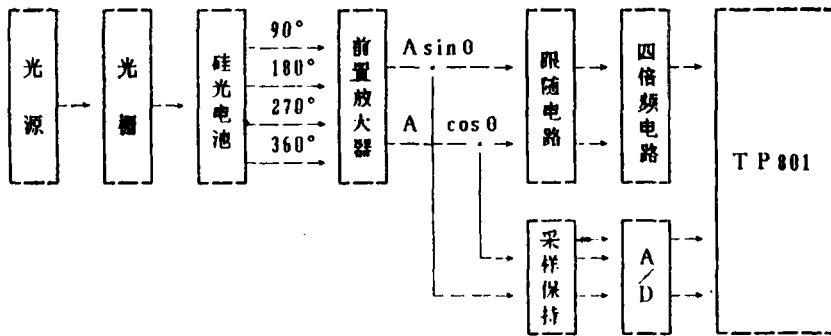


图7 系统框图

在本系统中，用运算放大器对光电元件的输出信号进行差分放大。输出的四路信号分别为 $A \sin \theta$ ， $A \cos \theta$ ， $-A \sin \theta$ ， $-A \cos \theta$ ，送四倍频电路，同时将 $A \sin \theta$ ， $A \cos \theta$ 送采样保持器。下面对采集电路加以说明。

$A \sin \theta$ 和 $A \cos \theta$ 同时送到采样保持器以后，TP—801在PIOA口产生一采样脉冲，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 $A \sin \theta$ 和 $A \cos \theta$ 的瞬时值。在TP—801的控制下，A/D转换器对信号进行转换。经过两次A/D转换，把 $A \sin \theta$ 和 $A \cos \theta$ 信号在采集时的瞬时值变为数字量并输入TP—801单板机进行处理，从而完成精测值的计算。

### 四、TP—801单板机的工作程序

为了使TP—801单板机完成数据的采集，40细分的处理、粗测及精测值的链接等任务，我们用汇编语言编写了系统的初始化程序，主程序，采集子程序，链接子程序，中断子程

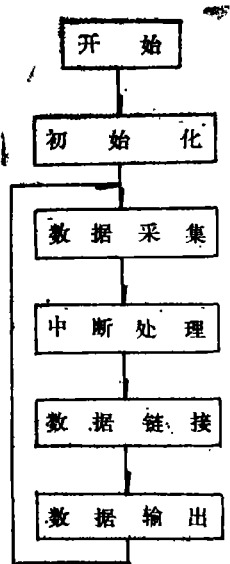


图8 程序流程图

序。中断程序由10条指令组成，最长执行时间为 $25\mu\text{s}$ ，所以完全可以满足光栅运动速度的需要，确保粗测值的正确计数。程序的流程图如图8所示。

## 五、实验结果与误差分析

实验中，我们用D/A转换板产生相位差为 $\pi/2$ 的两路正弦信号模拟光栅的输出信号，当信号变化一个周期时，细分装置的输出为28H（十六进制），对应于50条线/mm的光栅其测最小分辨率为 $0.5\mu\text{m}$ ，当模拟信号的幅度发生波动时，并不影响测量结果。

对于实际的光栅信号测量，其精度取决于光栅信号的质量，在细分数为40时，误差的主要来源有以下两个因素：

1) 正余弦幅值不等的影响；

设两路光栅输出信号分别为 $A\sin\theta$ 和 $(1+\xi)A\cos\theta$ ，则有

$$\text{tg}\varphi = \frac{A\sin\theta}{(1+\xi)A\cos\theta} \quad (1)$$

式中 $\varphi$ 是测量的相位， $\xi$ 是两路信号的相对幅值不等量。因此测量的相位 $\varphi$ 与理论相位 $\theta$ 存在误差， $\Delta\varphi_\xi$ ，则式(1)可改为

$$\text{tg}\varphi = \text{tg}(\theta + \Delta\varphi_\xi) = \frac{1}{1+\xi} \text{tg}\theta \quad (2)$$

经过适当的近似， $\Delta\varphi_\xi$ 可表示为

$$\Delta\varphi_\xi \approx \frac{\xi}{2} \sin 2\theta \quad (3)$$

当 $\sin 2\theta = \pm 1$ 时出现最大误差

$$\Delta\varphi_{\xi \max} = \left| \frac{\xi}{2} \right|$$

2) 两路信号不正交的影响；

设两路信号分别为 $A\sin\theta$ 和 $A\cos(\theta+\alpha)$ ，则有

$$\text{tg}(\theta + \Delta\varphi_\alpha) = \frac{\sin\theta}{\cos(\theta+\alpha)}$$

得

$$\Delta\varphi_\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{\sin\theta [\cos\theta - \cos(\theta+\alpha)]}{\cos(\theta+\alpha) \cos\theta + \sin^2\theta}$$

式中 $\Delta\varphi_\alpha$ 是由于信号不正交所产生的相位误差。由于 $\alpha$ 一般都很小，分母 $\cos(\theta+\alpha) \cos\theta + \sin^2\theta \approx 1$ ，故

$$\Delta\varphi_\alpha = \text{tg}^{-1} [\sin\alpha \cos\theta (1 - \cos\alpha) + \sin^2\theta \sin\alpha]$$

而 $1 - \cos\alpha \approx 0$ ，得

$$\Delta\varphi_a \approx \text{tg}^{-1}(\sin^2\theta \sin\alpha) \approx \sin^2\theta \sin\alpha.$$

当  $\sin\theta = \pm 1$  时, 出现最大误差:

$$\Delta\varphi_a \approx \alpha.$$

此外, 直流电平的变化, 高次谐波的存在以及微机计算误差也是产生细分误差的原因。但用此方法细分莫尔条纹时影响较小, 不再讨论。

## 六、结 束 语

实验结果表明: 用“查表法”对莫尔条纹信号进行快速细分是可行的。与传统的电子学细分方法和软件细分法相比其优点是电路简单, 速度快, 成本低, 精度高。提高细分数时只需修改软件, 不添加硬件, 不会导致电路的复杂化, 特别适用于各种测量仪器。对于系统中有规律的误差, 可用微机进行误差修正, 从而进一步改善系统的测量精度。

## 参 考 文 献

- [1] 张善钟主编, 计量光栅技术, 机械工业出版社, 1985。
- [2] 王因明主编, 光学计量仪器设计(上册), 机械工业出版社, 1982。
- [3] 张彤、王作斌, 微型计算机在莫尔条纹细分中的应用, 光学机械, 2, 1985。

## Quick and Accurate Measurement of Grating Displacement with Microprocessor

Wang Wenming      Lu Jiangbin

### Abstract

This paper puts forward the quick “table-seeking” principle and a set of methods for the electronic division of the Moré-fringe signal. The measurement accuracy is mainly dependent on the quality of the grating signal. The system can perform the real-time data sampling with forty divisions of the Moré-fringe signal. The experimental results show that the “table-seeking” method can measure the grating displacement quickly and accurately.

**[Key words]** Moré-fringe, division, measurement