

光纤传感器中微弱光信号检测

吴晓立

林崇杰

(西南交通大学)

(电子科技大学)

对微弱重复信号的检测采用数字累积平均法是一种极有效的技术。实验采用 Apple-IIe 型机实现了对光纤瓦斯传感系统中 4 组微弱光信号检测, 明显改善了检测系统的功能。本文介绍了系统硬件、软件设计以及有关问题。

Detection of weak optical signals in optical fiber sensors

Wu Xiaoli

(Southwest Jiaotong University)

Lin Chongjie

(University of Electronics Science and Technology of China)

Abstract

A technique using a micro-computer (Apple-IIe) to process four groups of weak optical signals in an optical fiber gas sensor system is introduced. It improves the function of this detection system obviously. The desings of the hardware, software and some relative problems are also introduced.

一、引言

光纤传感器是70年代中期发展起来的一门新技术, 与传统的传感器相比, 它有许多的优点, 同时又具有与光纤遥测技术, 光纤通信技术的兼容性, 易与微机相连接, 受到广泛的重视。我们所研制的光纤瓦斯传感系统, 是按双波长差分吸收法的原理工作的。原理工作框图见文献(2)。它有四组光信号需要实时处理, 按比尔定律:

$$I = I_0 e^{-\alpha LN}$$

式中, I_0 是入射光强度, I 是透过长度为 L 的气体后的光强度, N 是气体浓度, α 是吸收系数。

光强的变化量与浓度变化量的关系:

$$\delta I = -\alpha L I \delta N$$

即有（只考虑绝对值）：

$$\delta I/I = \alpha L \delta N$$

根据我们研制的技术条件，若要分辨0.01%的浓度， $\delta I/I$ 大约在 5.4×10^{-5} 。这个变化比率很小，在信号检测中，信号常常被噪声所掩盖。

我们知道对微弱光信号的检测常采用：（1）相关检测，（2）光子计数，（3）同步累积平均，以提高信噪比。

其中，同步累积平均法是依据被测信号的重复出现特性，而噪声则是随机的。经过m次同步累积平均，信噪比提高 \sqrt{m} 倍。

该输入信号幅度为 S_{in} ；噪声幅度 N_{in} ；则输入信噪比 $(S/N)_{in} = S_{in}/N_{in}$ 。如我们进行m次测量，则输出信号为：

$$S_{out} = m S_{in}$$

噪声是随机的，其统计平均结果为：

$$N_{out} = \sqrt{m} N_{in}$$

因此，m次测量的平均值其信噪比为：

$$(S/N)_{out} = S_{out}/N_{out} = \sqrt{m} \left(\frac{S_{in}}{N_{in}} \right) = \sqrt{m} \left(\frac{S}{N} \right)_{in}$$

同步累积平均检测技术关键就是必须满足采样脉冲与待测信号在时间上严格一致（同步）。同时，按采样定理：采样频率 f_s 必须大于待测信号最大频率 f_m 一倍以上。即：

$$f_s \geq 2f_m$$

数据的大量采集与繁杂的整理计算工作，由微机进行，使同步累积平均技术变得方便易行。

二、微机处理的硬件装置

与Apple-IIe机相配的接口插件是已商品化的16通道12位模数和数模转换（A/D/A）卡；它是可编程控制的。驱动电路，4组微弱光信号的光电转换前置放大以及低通滤波电路则是自行设计的。

系统接口硬件装置如图1所示。

由微机编程控制12位数模转换(D/A)，由输出端口给出一定频率与占空比的脉冲电平信号，经驱动电路调制LED，输出光信号。通过光学系统后（延时 τ 秒），分成4组特性相同的弱光信号，经光电转换、前放以及滤波，传送到模数转换输入端口，微机进行循环采集、存贮、计算等工作。

微机进行采样的关键就是采样与信号严格同步。此处，我们没有用外同步信号，而是利用微机产生的可控调制信号来实现同步

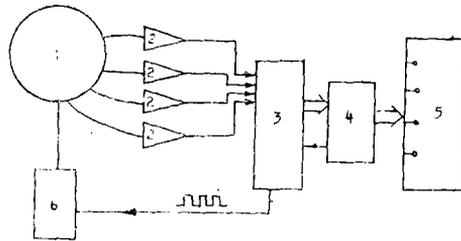


图1 系统硬件装置图

1. 光学系统 2. 放大滤波 3. 16通道12位A/D、D/A卡 4. 6502 CPU 5. 显示、报警、监视、图表

采样。

12位A/D/A卡插于Apple-II型机的输入输出设备插座的第4槽；I/O地址是\$COCO~\$COCF，A/D转换一次的转换时间约80μs。

对于接在12位A/D/A卡输入端口处的低噪声低漂移前放与滤波，其截止频率在1kHz左右，使与待测信号频率相适应，并达到尽量除去带外噪声的目的。

输出的主要参数就是显示4组信号的采样平均数与有关的计算值。同时，当计算值超过某一标准，便给出报警信号（如出错信息）。

三、调制信号的软件设计

由微机输出100Hz的脉冲信号去调制光源，为此试验用软件产生此调制信号。

1. 软件框图

此软件可产生频率为 $(1/(\tau_m + \tau_n))$ Hz，占空比为 $\tau_n/(\tau_m + \tau_n)$ 的脉冲信号。延时时间 τ 按下式计算：

$$\tau = \frac{1}{2}(5A^2 + 27A + 26) \quad (1)$$

2. 信号波形

我们试验了100Hz、占空比为1/2的调制信号的产生；此时 $\tau_n = \tau_m = 5$ ms，即式(1)中A为16进制的2A。波形稳定，效果很好。

四、数据采集的软件设计

1. 软件设计思想

由产生调制信号的软件可知有如图3波形。很显然，采样过程必是在延时 τ_n 段，只需把延时子程序 τ_n 变成采样程序（此采样子程序所占执行时间仍为 τ_n ，以保证占空比不变），这就能满足既能输出 $(\tau_n + \tau_m)^{-1}$ Hz的调制信号，又能同步地进行数据采集。

这里需要考虑到经光学系统后的延时 τ ；实际技术要求 $\tau \leq 20\mu s$ 。

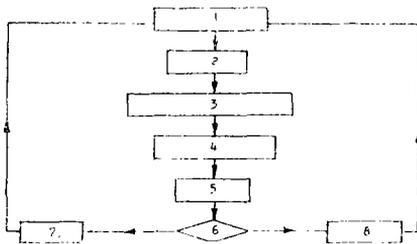


图4

1. 字符说明句 2. CALL子程序 3. PEK (地址) 分别取4通道高、低位 4. 累加平均、计算 5. HOME 6. 判断 7. 显示 8. 显示、报警

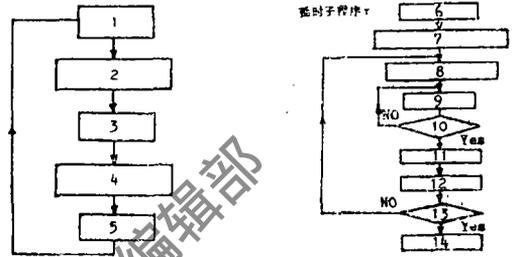


图2 调制信号软件框图

1. 开始 2. 12位D/A转换置非全零 3. 延时 τ_n 4. 12位D/A转换置全零 5. 延时 τ_m 6. 开始 7. 标志C置1, 准备做减法 8. 将累加器A值入栈 9. A-1→A 10. A=0 11. A出栈 12. A-1→A 13. A=0 14. RTS



图3 信号采集，处理时序示意图

对4组信号（即4个通道）循环地进行采样，每通道在 τ_n 时间内采样n次。4个通道则共采样 $4 \times n$ 次；经过M个脉冲以后，共有数据 $(4 \times n \times M)$ 个，占据存贮单元： $2 \times (4 \times n \times M)$ 。一般数据都很多，在 τ_m 段，对采样数据进行了累加预处理，以减少暂存单元、节约取存数的时间。当M适当时，便进行最终计算处理、显示等。

2. 软件设计框图

主程序框图 (BASIC语言);
子程序框图 (6502汇编语言);

五、实 验

我们用 1 组电位器, 模拟光学系统的 4 组光信号。实验结果表明, 硬件的配置与软件设计完全满足同步累加平均技术的同步要求, 效果很好。

接入实际光学系统以后, 明显看出, 随着采样平均数点的增加, 所得实验数据更加稳定, 但是它是检测时间的增长为代价的。同时应充分考虑到低通滤波与前放的噪声性能, 提高输入信噪比, 减少同步累加平均技术的采样与累加时间。

模数转换前的增益设置, 必须使噪声峰值不超过满刻度 (本处电平为 5V), 否则转换输出数字量会失真。

12 位 A/D/A 转换卡的分辨率为 ($5V / 2^{12}$), 即为 1.221mV。合理设计系统硬件, 可充分挖掘数模和模数转换卡的分辨率。

六、结 束 语

用 Apple - IIe 型机与 12 位 A/D/A 卡, 由软件编程控制, 进行数据采集与处理, 对微弱信号检测是可行的, 它不仅加强了检测系统的功能, 更重要的是能自动完成繁杂的数据采集与处理, 明显地提高了信噪比。

参 考 文 献

- (1) Appl. Opt., 1984, Vol. 23, P. 3415.
- (2) 林崇杰, 吴晓立, “光纤瓦斯传感系统的研制”, 本刊本期第 51 页。
- (3) 荣树熙等编, 《6502 微处理机及其应用》。
- (4) 《第二届国际光纤传感器会议论文译文集》。

*

*

*

收稿日期: 1988 年 4 月 25 日。

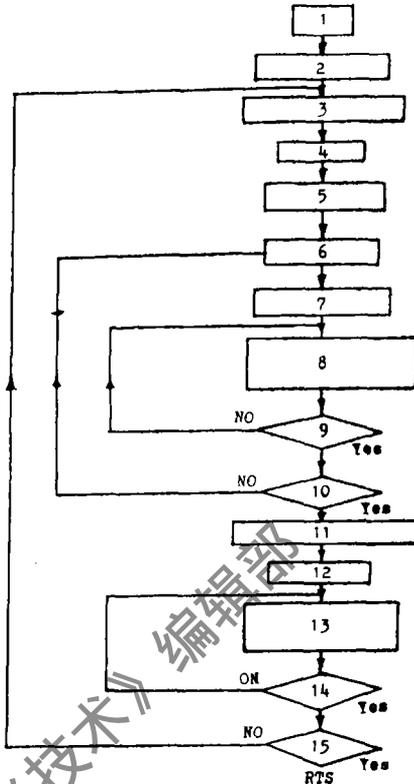


图 5

1. 开始 2. 给出脉冲数 M 3. 12A/D/A → 全 1 4. $\tau \leq 20\mu s$ 5. 给出循环次数 6. 累加器清零 7. 给出通道号 8. 采样, 分别以高、低位存放 9. 通道号完否 10. 循环次数完否 11. 12A/D/A → 全 0 12. 给出通道号 13. 累加各采样值, 存贮 14. 通道完否 15. 脉冲数 M 完否