

应用线阵CCD降维测量放映机画面抖动

赵力 刘岩 熊经武

摘要: 本文论述动态降维测量小位移原理, 并介绍采用一片线阵 CCD 通过单片机控制, 对电影放映机画面抖动实现降维检测的方法。

一、前言

电影放映机画面抖动的动态测量是放映机产品质量检验的一个重要项目。人们对电影所放映画面的期望是保持影片画面上的一切可能的质量特性。除了将影片画面复现于放映银幕上之外, 电影放映系统还有一些特性须加以制约, 以便得到最佳的放映画面。

检测银幕画面质量的主要指标之一是稳定性。多少年来国内外一直沿用半定量法, 观看极值, 要求检验人员用眼观察, 凭主观视觉记录信号, 很单调乏味, 易使人注意力涣散, 效率不高, 而且人的感官有很大主观性, 误差较大, 无法自动测量和自动记录。因此研制一种能极大程度取代人工检测的自动检测系统是非常必要的。本文所介绍的动态检测系统就是针对这一问题而设计的, 它较好地解决了这一问题。

二、检测原理

用一片线阵CCD作为光电转换器实现放映机画面抖动的降维测量, 其原理如图1所示。将画面检验片上的直角三角形投影到 CCD 的光敏元像面上。

$$x = n_1 \times d$$

$$x' = (N - n_2) \times d$$

这里 N 为 CCD 的光敏元固有位数, n_1 、 n_2 分别为 CCD 光照部分的象元输出脉冲数, d 为 CCD 器件光敏元间的中心节距。

由于画面抖动量的存在, 每一幅画面的影像投影到 CCD 光敏面上的值 x , x' 必然不等, 而两幅画面在 x 轴方向的中心坐标之差代表了画面的横向抖动值。对于纵向抖动量用图形相截 x 轴的线段长度 $(x' - x)$ 作为当量来表示。

设第 i 幅画面与光敏元 x 轴交点分别为 x_i , x_i' , 以 n 个画面为一组检测, 则检验片中第 i 幅画面的抖动量为:

$$\Delta x_i = \frac{1}{2} \left[(x_i + x_i') - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i + x_i') \right]$$

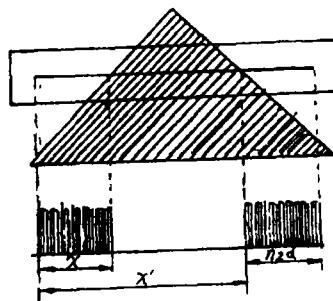


图1

$$\text{纵向: } \Delta y_i = \frac{1}{2} \left[(x_i' - x_i) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i' - x_i) \right]$$

如果光学系统的放大倍率为 β ，则画面的抖动量分别为上式的 $1/\beta$ 倍。这样就实现了用一片线阵CCD检测画面两个自由度抖动量的降维测量。

三、检测系统的基本组成

该系统是一个光机电相结合的系统，它涉及光学成像、机械结构、光电传感器、数据采集、处理、显示及打印等计算机科学和电子学技术等。下面仅就该系统的主要部分作一介绍。

1. 电原理框图

整个系统的电原理框图如图2所示。它主要有CCD驱动器部分，CCD输出信号处理，测量逻辑控制电路等部分组成。

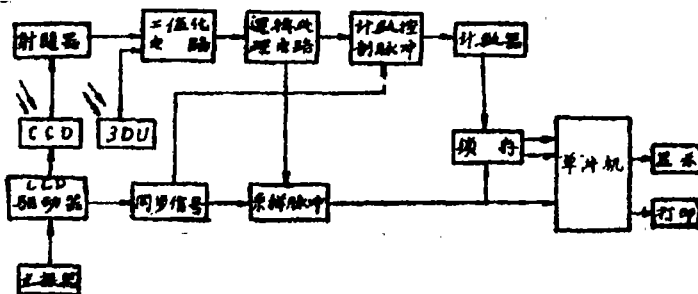


图2

CCD输出信号的处理

对CCD输出信号的处理采用二值化电平切割法，该种方法的处理全部由硬件电路实现，整个处理过程与信号输出几乎同时完成。

测量逻辑控制电路

CCD在整个测量过程中，一直以一定工作频率进行自扫描，这一特点是实现动态测量的重要因素，但如不设计一个控制电路来控制测量过程中各部分的逻辑关系，整个系统就无法工作。测量逻辑控制电路正是为解决上述一系列问题而设计的。

2. 单片机接口逻辑

整个系统用单片机8031为控制主体，应用它协调软、硬件的设计，进行数据处理、显示、打印等。硬件接口逻辑如图3所示。

8031是无程序存储器的MCS-51系列单片机。由 EPROM2732, EPROM 2764从外部给8031提供12KB存储单元。2732、2764的输出控制 \overline{OE} 均由8031的 \overline{PSEN} 提供，以完成取操作，片选信号 \overline{CE} 由 P_2 口的高位地址 A_{14} 提供。

8031的内部RAM容量远远达不到我们的要求，因此由两片6116从外部给8031扩展了4KB的数据存储器以便存放采集的数据。

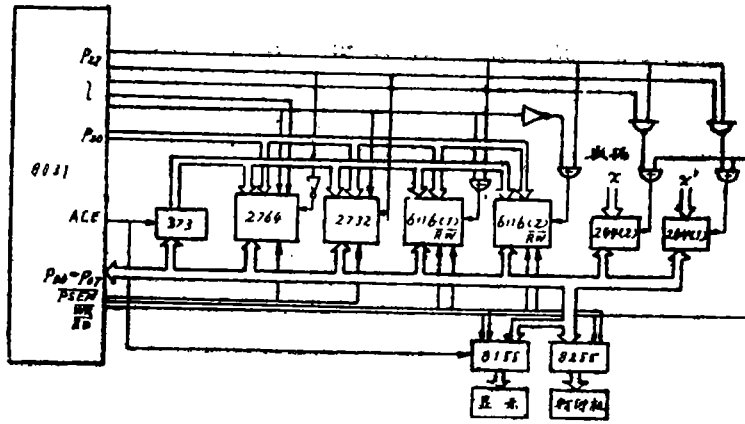


图 3

对测量结果的显示，采用七段数码管由扩展口8155驱动。另外，本系统还设有打印机接口，如需要打印测量结果，可选用通用打印机与8255接口相接，即可打印所需数据及图形。

3. 光学成像

在不增加光学系统的基础上，通过光学放大方法弥补了 CCD 元件分辨率低的缺陷，使得用 CCD 测量“画面抖动”成为可能。在提高分辨率的同时，考虑到与测量范围的矛盾，在量程允许的条件下，尽可能提高分辨率。

4. 光强连续调节

用两个偏振片相对旋转解决连续调光，使 CCD 响应曲线应用于“近饱和”区，相对降低了对光源稳定性的要求，降低光噪声对测量系统的影响。

5. 光强自动补偿

通过光敏元件直接接收放映机光信号，用它作为与 CCD 信号的比较基准，当光强发生变化时，光敏元件的信号和 CCD 输出信号的变化比例相同，基准电平按照与 CCD 输出信号相同的比例浮动，使其转换点不变，消除误差。

6. 多次测量

从影片画面的影像进入测量位置直到影像离开 CCD 光敏区，在整个运动期间，为减小偶然误差对测量精度的影响，进行了多次测量。

整个系统除上述几个主要部分外，为使各部分的连接阻抗匹配及其它要求，还附设一些其它电路，这里就不一一列举了。

此外，为保证系统的稳定，减少噪声，所有电源都经过稳压。电路的模拟地、数字地、功率地、信号地均分开，并在合适处共地，地线粗而短，所有信号线均采用高频电缆，接线尽可能的短，以提高信噪比。

四、误差综合

本系统的误差源属于随机误差或未定系差。对于随机误差，在大多数情况下，其分布率

与正态分布接近，因而可近似地以正态分布来考虑。对于未定系差，由于系统性较强，需要具体情况具体分析。

1. 二值化误差

用比较器对CCD输出信号进行二值化，存在一个过渡区，该过渡区产生的二值化误差为： $(13 \times 6) / 50 = 1.56 \mu\text{m}$ 。CCD光敏元间距为 $13 \mu\text{m}$ ，过渡区为5~6个光敏元，放大倍数为50。由于光敏元间距是等概率分布，所以该误差的标准偏差： $\sigma_1 = 1.56 / \sqrt{3} = 0.901 \mu\text{m}$ 。

2. 量化误差

经过比较器二值化后的信号控制计数器计数，实质上是一个量化过程，其量化误差为： $\pm 13/50 = \pm 0.26 \mu\text{m}$ 。标准偏差： $\sigma_2 = \pm 0.26 / \sqrt{3} = \pm 0.15 \mu\text{m}$ 。

3. 放大倍率测试误差

测试放大倍数时，视觉误差最大值为 $\Delta\beta = \pm 2 \text{mm}$ ，由此引起的抖动测试误差：

$$\Delta = \pm \frac{\Delta\beta}{\beta} \cdot \Delta x_{max} = \pm \frac{2}{50} \times 0.03 = \pm 1.2 \mu\text{m}$$

该项误差为随机误差，服从高斯分布，因此标准偏差：

$$\sigma_3 = \Delta / 3 = \pm 1.2 / 3 = \pm 0.4 \mu\text{m}$$

4. 被测图形引起的误差

由于被测图形不可能是完全理想的等腰直角三角形，因此对测量结果要带来一定的误差。设其顶角偏差 $\Delta\alpha = \pm 1^\circ$ 时，经计算得y轴抖动测试误差：

$$\Delta y_{max} = \pm 0.52 \mu\text{m}$$

该项误差是未定系统误差，服从等概率分布，所以其误差限 $e_1 = \Delta y_{max} = \pm 0.52 \mu\text{m}$ ，置信因子 $k_1 = \sqrt{3}$ 。不确定度

$$u_{1y} = e_1 / k_1 = \pm 0.52 / \sqrt{3} = \pm 0.30 \mu\text{m}$$

该项误差不影响横向抖动量的测量，所以 $u_{1x} = 0$ 。

5. 位置误差

放映机投影到CCD光敏元上的三角形影像，其底边与CCD光敏元应保持平行，但实际中往往会有一定的夹角，由此引起的误差最大值为：

$$\Delta x_{max} = 1.03 \mu\text{m} \quad \Delta y_{max} = 1.03 \mu\text{m}$$

该项误差是未定系统误差，服从等概率分布，所以

$$u_{2x} = u_{2y} = 1.03 / \sqrt{3} = 0.59 \mu\text{m}$$

6. 画面旋转误差

画面检验片通过放映机片门时，由于片道与片夹间的空隙，使检验片产生一定的偏转角，由于该偏转角使画面旋转产生的测试误差为：

$$\Delta x_{max} = \Delta y_{max} = 0.037 \text{mm}$$

$$\sigma_{4x} = \sigma_{4y} = 0.037 / 3 = 0.012 \text{mm} \quad (\text{高斯分布})$$

根据“广义方和根法”放映机画面抖动测量误差的合成不确定度：

$$\sigma_x = \pm \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_{4x}^2 + u_{1x}^2 + u_{2x}^2} = \pm 1.16 \mu\text{m}$$

$$\sigma_y = \pm \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_{4y}^2 + u_{1y}^2 + u_{2y}^2} = \pm 1.20 \mu\text{m}$$

五、结 论

初步实验结果表明，该测量方法比较合理，系统工作可靠。研制的仪器已用来对长江牌 F16—4A II Y型放映机画面抖动进行过检测，其测量结果为：

横向抖动：0.018mm 误差： $\sigma_x = \pm 1.16 \mu\text{m}$

纵向抖动：0.024mm 误差： $\sigma_y = \pm 1.20 \mu\text{m}$

显然上述测量结果，比传统的测量方法分辨率提高了一个数量级，能分辨出0.001mm的抖动值，并增加了画幅抖动量的逐格显示，打印功能，满足实际应用的测量要求。

本课题在进行过程中，得到十二室李耀斌同志的帮助在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Fairchild, CCD The Solid State Imaging Technology.
- [2] M.J.Howes and D.V.Morgan, Charge—coupled Devices and Systems.
- [3] 王以铭编著，电荷耦合器件原理与应用，科学出版社，1987.
- [4] 影机技术, ISO、美、日、英、德、苏、16mm电影技术标准译文专辑，南京电影机械厂，1985.3.
- [5] 16mm电影放映机技术条件，中华人民共和国机械工业部批准，1984—05—17发布，1984—10—01实施。

Down-dimensional Measurement of the Picture Flutter in the Film Projector by Linear CCD

Zhao Li, Liu Yan Xiong Jingwu

Abstract

This paper describes the principle of the dynamic down-dimensional measurement of small displacements and introduces a measuring method which adopts one chip linear CCD and uses a single chip microcomputer controller. The method is used for down-dimensional measurement of the picture flutter in the film projector.