

# 形心测量跟踪电视系统

于前洋 黄廉卿 刘 洵 张渤琳

刘丽琴 郭廷政 白雨虹

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春130022)

**摘要** 论述形心测量跟踪电视系统的构成、工作原理、关键技术及实用结果。

**关键词:** 形心测量; 跟踪电视系统

## 1 概 述

形心测量跟踪电视系统, 为260"激光电视电影经纬仪提供实时测量和自动跟踪的手段。经纬仪在形心电视跟踪测量状态下, 可自动跟踪目标的形心, 并实时输出目标形心的空间指向。

系统的主要技术指标如下:

采样频率40Hz

分辨率 $256 \times 256 \times 6\text{bit}$

视场 $34'$  ( $f=1\text{m}$ )

$17'$  ( $f=2\text{m}$ )

跟踪误差: 系统误差最大值 $3'$ , 随机误差均方根值 $30''$ , (在最大速度 $20^\circ/\text{s}$ , 最大加速度 $7^\circ/\text{s}^2$ 时)。

早在八十年代初, 长春光机所就开展了全数字化形心跟踪测量电视系统的研究。1986年底, 第一台原型样机 VRTT 实时电视跟踪器研制完成, 并在室内与伺服系统进行了联调。在此基础上, 1987年研制出以 TMS320系列数字信号处理器为核心的高速全数字化的, 采用软、硬件相结合的, 两台专用计算机并行工作的新型电视跟踪测量系统。

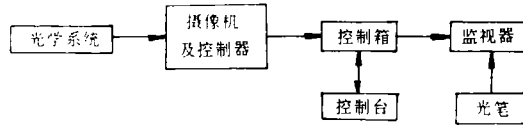
1988年夏, 加装有形心测量跟踪电视的移动式捕获跟踪定位系统, 通过室内总联试。1989年9月—11月, 在长春大房身机场进行了外场试验, 对喷气式飞机起飞、盘旋、着陆的全过程进行现场跟踪测量。1990年10月—12月, 在基地通过了外场校飞, 除跟踪靶机、靶船外, 还在海面浪花闪烁的强背景干扰下, 成功地跟踪了掠海飞行的导弹。次年, 本设备由用户操纵, 多次成功地获取了实弹打靶数据。

至今, 加装形心测量跟踪电视系统的设备已完成多台。

## 2 工作原理

### 2.1 系统组成

形心测量跟踪电视系统主要由四大部分组成：



即：摄像机及其控制器、控制箱、监视器、控制台。

其简化框图如图1所示：

### 2.2 工作原理

目标经光学系统成像到摄像机靶面上，由摄像机变换成视频信号，该信号经视频预处理电路进行视频信号放大、箝位、极性转换、降低噪声等模拟处理后，送入高速 A/D 变换器变换为数字信号。

经 A/D 变换后的 6bit 的数字信号送入视频处理器。视频处理器的任务，是将目标从背景中分离出来，它将跟踪窗内的灰度图象，变成一幅二值图。用“1”表示目标象素点，用“0”表示背景象素点。目标分离原则，是基于统计分类原理。

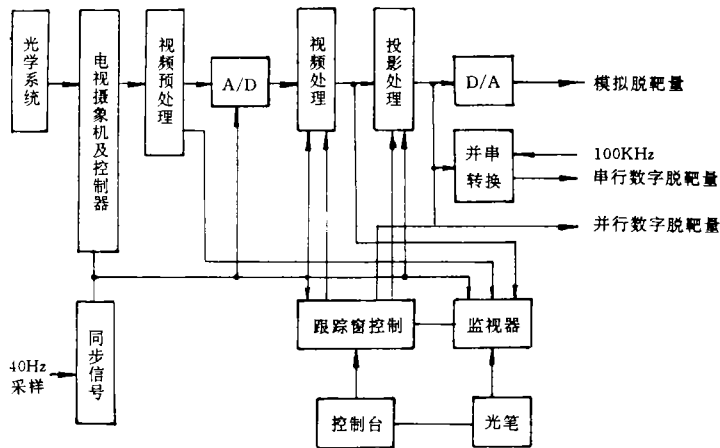


图1 系统框图

首先，将跟踪窗分成两个区域，如图2所示。

包含目标的称为目标区 TR，围绕目标的外框区称为背景区 BR，实时地获得 BR、TR 的灰级特征，再将其加以比较，即可将 TR 中属于目标的象素分离出来。目标和背景的灰级特征，可用灰级直方图表达，所以只要实时统计出 TR、BR 区的灰级直方图，即可建立起实时分类原则。这种分类原则，只依据象素的灰级，就可判断其属性：属于目标的象素赋值为“1”，属于背景的象素赋值为“0”，从实时数据处理的角度来看，这一分类原则，就是一张查询表，其内容非“1”即“0”，其地址即象素的灰级值。这一张分类表就是视频处理的最终成果。由 A/D 来的数字化的视频信号，就是每一象素点的灰级值，由它作为地址去查询存放在高速 RAM 中的分类表，即可实时地产生分类后的目标区二值图像。其中取值为“1”的即为目标象素。

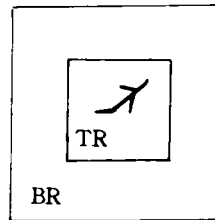


图2 跟踪窗

视频处理器输出的二值图信号，一路送到监视器去显示，另一路输入到投影处理器，完成计算及控制任务。

投影处理器的主要任务,是按照投影计算原理来计算目标形心的脱靶量,以及目标的大小,即有效高度和宽度。

投影处理器计算目标形心是基于投影计算原理,如图3所示。

视频处理器输出的目标二值图,先沿  $x$  方向和  $y$  方面投影,计算出对应的行、列目标象素点数目,并送入投影存储器。在投影存储器里存储的是目标所在的每行、每列位置上象素点为“1”的个数。将  $y$  投影面积分成八等份,可得到八个分点  $y_1 \sim y_8$ ,显然  $y_4$  即为目标的  $y$  方向形心坐标,而目标高度  $T_H = y_8 - y_1$ 。同理,可知  $x_4$  为目标的  $x$  方向形心坐标,目标宽度  $T_w = x_8 - x_1$ 。目标形心脱靶量为:

$$\Delta x = x_4 - 128$$

$$\Delta y = y_4 - 128$$

投影处理器另一任务,是完成经纬仪从操作手半自动工作方式到电视自动跟踪方式的平稳转换。其过程简述如下,见图4:

在半自动状态下,当目标进入视场,在  $A_1$  处,处于手动跟踪窗之中时,即可转换为电视自动跟踪状态。在切换瞬间,目标仍停留在  $A_1$  处(坐标平移),经纬仪无任何抖动,当在  $A_1$  处停留3秒后,投影处理器按照真实脱靶量( $A_1 - A$ )的符号,给出程序预置的固定小值脱靶量,使跟踪点  $A_1$  平稳而缓慢地向  $A$  点附近移动,投影处理器计算出  $A_1$  点移动的最后位置的实际脱靶量,直接送至传动系统,使经纬仪最终跟踪点迅速移至  $A$  点处。

这种三段式有坐标平移的转换过程,是在一定时间内柔和而平稳地完成的,避免了以往方式的过冲和振荡,从而提高了转换的可靠性。

此外,系统还有跟踪窗控制器,用来提供自动、手动跟踪窗,起到既选择了目标,又缩小了处理范围,减小信息量的作用。这里,应特别提到,我们在跟踪窗的设计中,使用了操作简便的光笔控制。当目标出现在视场里,显示在监视器上,这时操作者只要手持光笔,对准监视器上的目标,轻轻一按,就可定位手动跟踪窗,从而为目标的处理提供了快速、简捷的手段。

系统中还包括有同步信号发生器,它按时码钟送来的40Hz采样脉冲,采用锁相倍频技术,严格同步地产生形心测量跟踪电视系统所需要的象素钟、行同步、场同步信号。

### 3 关键技术及解决的途径

形心测量跟踪电视系统,是实时视频图象处理技术的具体应用。以视频速率实现图象的分类、跟踪与测量,是其中的主要技术难点。因此,要完成这种基于图象的测量跟踪系统的研制,必须解决的关键技术计有:

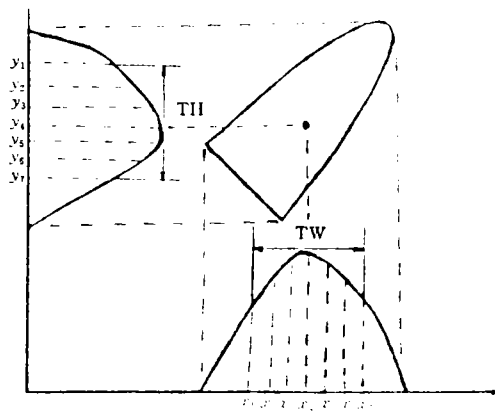


图3 投影计算原理

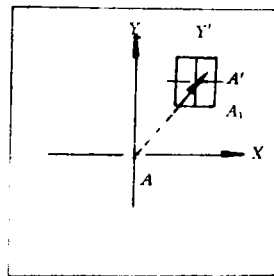


图4 平稳转换

图象预处理;实时视频图象分类;图象中目标跟踪误差的实时计算;图象传感器与伺服系统的协调。

### 3.1 图象预处理

电视自动跟踪测量,在室内调试很难模拟现场情况,这是很多类似设备在实验室能正常工作,到了现场环境却不能稳定可靠工作的重要原因。研究适应于不同光照条件的天空、海面背景下的图象预处理技术,是实施图象跟踪的首要问题。

本系统在良好的光学系统,包括太阳快门、自动调光和颜色滤光片的配合下,使用了能够分别进行水平和垂直方向畸变校正的电视摄像机,采用了电平翻转、箝位、背景扣除等电路措施,利用了两次长时间外场试验的经验,较好地解决了图象预处理问题。

### 3.2 实时视频图象分类

图象分类,即是背景中的目标图象分离出来,将多灰级图象变换成二值图象。本系统的分类基于统计原理,采用了修正的贝叶斯分类方法。为此,必须逐场计算出目标区和背景区的统计直方图,并用等误分类概率原理,形成逐场更新的分类表,然后用查询表以视频速率(6MHz)对从摄像机送来的视频图象信号进行实时分类。

我们分析比较了三种统计直方图的累计方法,最后选定硬软件结合的方案,用“读——加1——写”的形式,在场正程即可累计出来,在场逆程时间即可形成新的分类表。这样,就保证了逐场更新的分类,使对快速变化的景物也能将目标正确地分离出来。

1989年末,长春机场的试验表明,本系统对在片状薄云背景上飞行的飞机,成功地实现了目标分类,保证了整个经纬仪平稳地自动跟踪较复杂的动态背景中的飞行目标。这证明我们采用的实时视频图象分类方案是成功的。

### 3.3 跟踪误差的实时计算

获得稳定而真实的跟踪误差,是电视测量跟踪系统中的关键之一。本系统采用的基于投影算法的形心误差检测原理,具有较高的工作稳定性和抗干扰能力。由于使用了TMS320系列数字处理芯片,加上少量的高速硬件的支撑,使用了软硬件结合的工程方法,将误差求取时间减到了最小。即在场正程实现实时投影累计的基础上,同一场的逆程时间即可输出跟踪误差。

### 3.4 图象的传感器与伺服系统的协调

图象传感器(包括后续的图象处理器)要与高精度伺服系统连接,除了考虑其静态特性,如:视场、分辨率、灵敏度、动态范围、信噪比、误差特性的斜率等之外,还必须充分考虑其动态特性,才能保证与伺服系统的协调。动态特性包括采样频率、频带宽度和相移特性,以及图象处理所引起的时间延滞。

本系统采用两台专用计算机并行工作的方案,将产生跟踪误差的滞后时间压缩到一场以内,从而使伺服系统的校正变得容易,确保了它在高精度宽频带使用中保证有足够的稳定裕度,保证了对高速运动目标的精确跟踪测量。

## 4 实测数据

### 4.1 跟踪精度

下面是1990年,1993年对第一、二台仪器作室内验收时的电视自动跟踪精度的数据。模拟

目标作正弦运动,周期10.8s,对应的最大角速度和角加速度为:

方位角速度 $11^{\circ}/s$ ;方位角加速度 $7.1^{\circ}/s^2$ ;

高低角速度 $10.2^{\circ}/s$ ;高低角加速度 $7.4^{\circ}/s^2$ 。

		焦距 $f=1m$		焦距 $f=2m$		检测日期
		系统误差	随机误差	系统误差	随机误差	
		最大值	均方根值	最大值	均方根值	
第一台	方位	2'	26.4"	1'36"	27"	1990.9.28
	高低	2.1'	27.2"	1'24"	8"	
第二台	方位	30.2"	7.5"			1993.4.27
	高低	42"	12"			

## 4.2 测量精度

由于动态测量精度目前尚缺有效的方法,只测定了静态测量精度。

第一台	方位(均方根值)	3.09"	1990.9.28
	高低(均方根值)	1.87"	
第二台	方位(均方根值)	8.96"	1993.4.27
	高低(均方根值)	11.66"	

## 5 实用结果

第一台移动式光电捕获跟踪定位系统,1990年10月初,车载运输到基地,经三个月的校飞和实弹测量,于1991年1月交付试用。圆满完成了对试验舰,靶机和导弹的自动跟踪测量任务。在导弹验收试验中电视自动跟踪系统跟踪靶弹,取得了完整的外弹道数据,并观测到命中时刻的遭遇状态全过程,圆满完成了任务。在作用距离试验中,稳定跟踪装有曳光管的目标到36.7km,直到曳光管熄灭。

此项成果是长期集体劳动的结晶。八十年代初,在朱云清指导和唐九华院士的支持下开始了工作。得到姚立常,王毅和李继勋等人的协助。早期参加者还有张锦昌和马力男等,在此致谢意。

### 参 考 文 献

- [1]A. L. Gilbert *et al.* 实时视频跟踪方案. 国外测控技术,1980,(3):42—66
- [2]李家杰等,实时电视跟踪系统. 华中工学院学报,1985,(4):15—21
- [3]A. L. Gilbert *et al.* A Real-time Video Tracking System. Proceedings of the 24th ISA International Instrumentation Symposium, May 1978

## Centroid Measurement and Tracking TV System

Yu Qianyan, Huang Lianqing, Liu Xun,  
Zhang Bolin, Liu Liqin, Guo Tingzheng, Bai Yuhong  
(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*  
*Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

### Abstract

The centroid measurement and TV tracking system are studied. The system's components, principle of the operation, key technology and application's conclusion are described.

**Key words:** Centroid measurement. TV tracking system