

# 跟踪与测量电视的新近发展

宋建中

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

**摘要** 就图像传感器、视频信息处理和取脱靶量三个方面的研究工作进行了简要的介绍, 从中可以看出跟踪与测量电视技术发展的一侧面。

**关键词:** 图像传感器; 视频信息处理; 脱靶量

## 1 前言

电视可以把人的视觉在空间上延伸, 在时间上扩展, 它以被动方式工作, 不易被对方发现, 不怕电磁干扰。所以从六十年代后期起, 国外陆续开展跟踪测量电视的研究并用于对运动目标的跟踪测量。我国从六十年代末开始这个领域的研究。长春光机所是我国最早开展跟踪与测量电视工作的单位之一。

八十年代中期到九十年代初期, 电视摄像机从硅靶管摄像机换成了 CCD 摄像机, 在一些特殊要求场合开始使用微光摄像机和二极管阵列摄像机。信号处理方法由简单的灰度切割法、微分切割法, 改进为自动背景抵消法、用保持图像矩不变实现图像实时两值化, 近两年又发展到光机电混合图像处理和噪声兼容处理, 使视频信号处理的水平达到了光电对抗的程度。取脱靶量的方法从边缘法、中心法发展到重心法、相关匹配法和亚象元定位法。在这一期间, 图像处理技术在相当程度上被引进了跟踪与测量电视领域。目标探测由只根据目标和背景亮度差别发展到根据图像内容、光谱特性和目标运动参数来综合判断识别。从而使跟踪测量电视只能用于简单背景中单个亮目标的情况扩展到复杂背景中多目标的情况。

在这个期间还解决了经纬仪跟踪方式的平稳切换和电视脱靶量的修正问题, 所以电视跟踪测量的优越性得到了充分地发挥。人们对它在仪器自动化、智能化方面的作用认识越来越深刻。现在已经开始用电视取代电影摄影机实现经纬仪的全自动跟踪和实时测量及数据存贮。

## 2 图像传感器

### 2.1 光导摄像管

作为图像传感器的电视摄像机是跟踪测量电视系统的眼睛。长期使用的硅靶管是一种光

导管。其工作原理如图 1 所示。

光学系统把三维景物成像在光导层外表面上。光导层是由光敏材料蒸涂的，可以看做由无数个光敏元组成。每个光敏元等效一个电阻与一个电容的并联。电子束从电子枪发射出来，经过聚焦和偏转后打到光导层内表面。当光导层某个光敏元被电子束打中时，该处的电容被充电，在电子束扫描其它光敏元期间，该电容通过电阻放电，照在该处的光强越大，电阻越小，放电越快。当电子束再次扫到该光敏元时，其电容再次充电，所补充的电荷等于前一场放出的电荷。这样电子束电流就被入射光强所调制，在靶极负载上形成图像的视频电信号。硅靶管靶面工作照度约  $1 \text{ lx}$ ，光谱响应偏向红外，峰值在  $0.8 \mu\text{m}$ 。它的缺点是惰性大，调整靶压和电子束都会影响电视跟踪系统的性能。图像的几何失真大，虽然 1 英寸硅靶管光敏面为  $\Phi 19\text{mm}$  的圆，但可以使用的有效工作面积只有  $12 \times 12\text{mm}^2$ 。视频信号还需要背景校正、黑斑校正等预处理，耐冲击和振动性差，寿命短。所以当 CCD 一出现在市场上就很快取代了硅靶管。

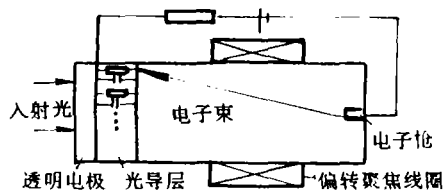


图 1 光导摄像管

## 2.2 CCD 图像传感器

由 MOS 场效应管组成的光敏阵列和转移阵列。光照在光敏元中产生光电荷，在加到象元电极上的驱动时钟的作用下，光生电荷被转移到相邻的象元。CCD 器件有帧转移型和行间转移型。帧转移型在逆程期间光敏阵列中的电荷被转移到帧存储阵列，在帧正程期间光敏阵列产生并积累光生电荷，与此同时，帧存储阵列中的电荷逐行地移入输出寄存器并串行输出。

行间转移型是每列光敏元之间放置一列转移电荷的垂直移位寄存器，信号电荷通过垂直移位寄存器送到水平移位寄存器再从输出级输出。CCD 的优点很多：重量轻、体积小、功耗低、无惰性、寿命长、灵敏度高、动态范围宽、无几何畸变、性能价格比高等，很适合跟踪测量电视用。但是 CCD 的工作频率上限受电荷转移时间的限制。CCD 电荷转移主要是通过漂移和热扩散运动来完成的，所以工作频率不能太高，否则转移效率下降。

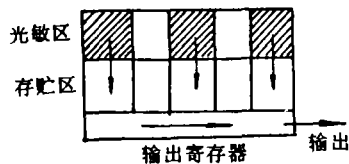


图 2 帧转移型 CCD

随着电视跟踪技术的发展，已经提出电视摄像机帧频大于 100 帧的要求而且图像分辨率还不能降低。这样，现有的 CCD 摄像机就难以胜任，需要采用能工作在高帧频的图像传感器。

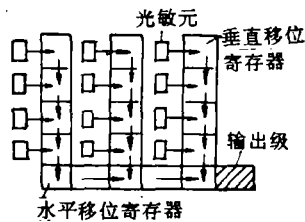


图 3 行间转移型 CCD

## 2.3 二极管阵列图像传感器 (PAD)

能工作在高帧频。它的光敏元和存储元是分离的光电二极管，它的结构示意图如图 4。每列的光电二极管各自通过开关接到一条公共的视频总线上。开关未闭合时，二极管积累光生电荷，一旦开关接通，二极管的电荷就通过视频总线移到模拟移位寄存器后再串行读出。在动态移位寄存器和控制下，每行象元的信息并行装入两个高速模拟移位寄存器，然后串行移出，再合成一行完整的信号。

目前使用的  $256 \times 256$  元的 PAD 工作帧频可以达到 108 帧，时钟  $8\text{MHz}$ 。它具有近于理想的光电传感特性，量子效率高，光谱响应宽，暗电流小，象元形状和尺寸设计灵活。但是工

作在电荷存贮方式下的二极管阵列，其输出电荷正比于曝光量，也就是辐照度或光强乘以积分时间，所以帧频提高后，灵敏度会下降。

### 3 视频信息处理

从图像传感器送出的视频图像信息必须经过处理才能将感兴趣的目标信息与背景分开。七十年代初，当时感兴趣的目标是再入假导弹或人造卫星，背景是近似均匀的蓝天，视频信息处理采用比较简单的灰度切割法就可以。后来目标换成了海上低飞的小目标，背景也复杂了，行之有效的信息处理方法有以下几种：

#### 3.1 微分切割法

视频信号经微分以后，缓慢变化的背景电平被固定在零电平，所以切割阈值也可以固定。这个方法对探测单个的小目标有效，但当目标形状复杂或存在椒盐噪声干扰时，不可靠，跟踪测量的随机误差大。

#### 3.2 背景抵消法

用一个自动随背景电平浮动的阈值将缓慢变化的背景抵消掉。这个方法，只要阈值电压计算得好，随背景浮动得准，就可以实现自适应切割，并能很好地保存目标形状。实现起来也很简单。

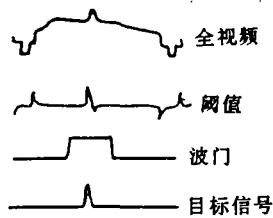


图5 微分切割法

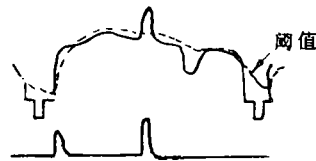


图6 背景抵消法

#### 3.3 保持图像矩不变的图像两值化

利用数字图像处理技术，把图像两值化看成是一种图像变换。原始的灰度图像当成其两值化图像的模糊，它们的基本内容和图像结构是不变的，所以两者的前三阶矩应该是不变的。利用这个道理就可以算出自适应的阈值。图像中心矩可以用直方图数据表示为：

$$M_i = \sum_j p_j(z_j)^i \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

其中  $p_j = n_j/n$ ， $n$  为象元总数， $n_j$  是灰度值为  $j$  的象元数， $z_j$  为第  $j$  个灰度级的灰度值， $i$  为中心矩的阶数。对两值图像， $j=1, 2$ ，设其低于阈值和高于阈值的概率密度为  $p_0$  和  $p_1$ 。其不变矩用  $M(i)$  表示，则有：

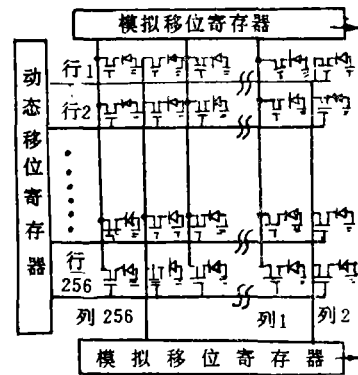


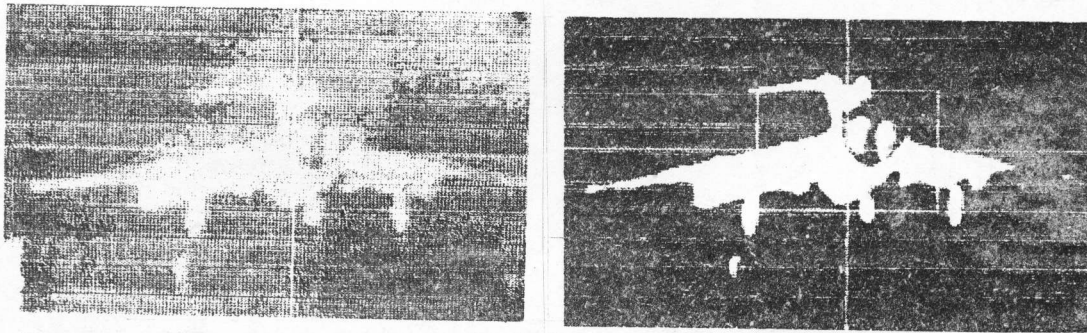
图4 二极管阵列结构示意图

$$\left. \begin{aligned} M'_1 &= p_0 z_0 + p_1 z_1 = M_1 \\ M'_2 &= p_0 z_0^2 + p_1 z_1^2 = M_2 \\ M'_3 &= p_0 z_0^3 + p_1 z_1^3 = M_3 \\ p_0 + p_1 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

解此方程组得出  $p_0, p_1, z_0, z_1$ , 然后对灰度图像根据下式:

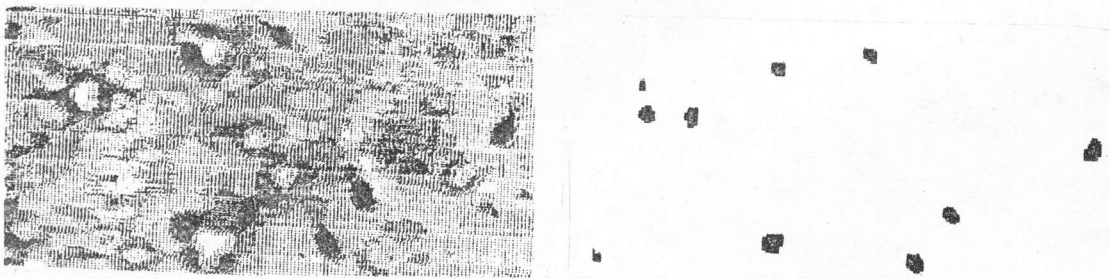
$$p_0 \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n n_j \quad (3)$$

求出  $t$  显然  $t$  就是随着图像内容自适应变化的两值化阈值。图 7 就是这个方法的实例。



(a) 原始图像                      (b) 两值图像

图 7 保持图像矩不变进行图像两值化



(a) 显微镜下的电视图像                      (b) 分离出的目标

图 8 采用噪声兼容技术对复杂背景中运动目标的分离

### 3.4 噪声兼容处理

当目标的特性, 如形状、大小等知道得比较准确时, 可以采用兼容处理的方法, 将目标和干扰物一起与背景分离, 然后利用目标的已知参数再将目标和干扰物分开。图 8 就是一个实际的医学图像处理图片, 运动的精子被很好地从标本背景中分离出来。

### 3.5 光、机、电混合处理

跟踪测量电视应用在武器系统时, 不仅存在自然背景的干扰还存在人工干扰源, 这时的

信息处理不仅要把目标与背景分开，还得把真假目标分开。这时应把目标的亮度、形状、光谱以及运动参数尽可能地都用上。某电视测角仪中使用的光、机、电混合处理方案。实际打靶证明，不仅能抗住一年四季的自然背景干扰，还能抗住烟、火、500W 氙灯的干扰。

## 4 取脱靶量的方法

跟踪与测量电视是用来对各种运动目标在三维空间中的角位置进行实时修正的装置。

图 9 给出了电视测量的原理。设目标在三维空间的位置为  $p$ ，它在电视摄像机靶面上的像点位置是  $p'$ ，要求目标偏离光轴的角度  $\theta$ ，只要知道在靶面上像点距中心点的偏差  $\Delta x$  和  $\Delta y$  就可以，因为焦距  $f$  是已知的。所谓电视脱靶量正是指的  $\Delta x$  和  $\Delta y$ 。

由于电视摄像机的扫描原理，在输出的视频信号中已经包含了严格的时基信息。矩形的靶面对应着摄像机扫描的正程和电视的视场，所以目标在靶面上的位置完全可以用目标信号相对消隐脉冲的时间关系来计算。基于这种原理取脱靶量的方法很多，下面是几种实际使用过的方法。

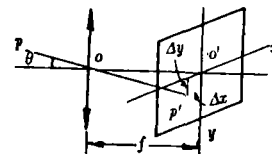


图 9 电视测量的原理示意图

### 4.1 脉宽积分法

目标信号被处理成方波，从消隐后沿到目标前沿和目标后沿分别产生两个方波，然后以同样的时间常数对电容积分产生电压  $V_{c1}$  和  $V_{c2}$ ，它们分别代表目标前沿和后沿到视场左上角的距离，然后再换算成距视场中心的脱靶量。这个方法还可能演变出不少花样，但对复杂背景或多目标都无效，而且精度差。

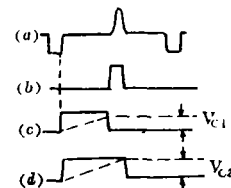


图 10 脉宽积分法

### 4.2 脉冲采样法

用目标信号形成的脉冲对摄像机的扫描距齿波采样、保持，产生  $V_{c1}$  和  $V_{c2}$ 。用它们分别代表目标前、后沿距视场左上角的距离。这个方法使产生脱靶量的积分距齿波和摄像机扫描距齿波的线性度一样，从而克服了距齿波线性度不好对测量精度的影响。但对 CCD 自扫描不适用。

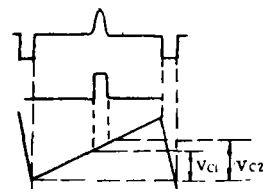


图 11 脉冲采样法

随着数字电路的发展，纯模拟方法已被数字方法取代。

### 4.3 脉宽计数法

用由消隐脉冲后沿到目标信号的前沿或后沿的方波做门控信号去选通时钟脉冲，然后计数就得到了目标前沿或后沿的位置。这个方法现在普遍还在使用。由于目标位置用数字量表示出来，所以处理就灵活多了。比如八十年代初期使用的求中心法，就是取目标宽度计数一半的那一行的中心代表目标的中心位置。

### 4.4 重心算法

到八十年代中期，单片机开始应用，使得有可能采用数字图像处理技术计算目标位置。重

心算法就是将电视图像变成数字图像后送进计算机，按统计方法，根据象元坐标来算出目标的灰度重心（也就是图像一阶中心矩）。用  $p_{ij}$  代表图像灰度值，图像一阶中心矩按下式计算：

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m j p_{ij}, \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m i p_{ij}, N = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij}. \quad (4)$$

如果图像经过完好的二值化，目标区  $p_{ij}=1$ ，非目标区  $p_{ij}=0$ ，则图像一阶中心矩就是目标的形心位置。重心（或形心）算法抗脉冲性干扰力能强，输出的脱靶量随机误差小。是目前较好的方法。在多目标时，测得的是目标群的重心。缺点是当目标大于跟踪窗口时出现“爬杆”现象。

#### 4.5 相关算法

相关算法是利用输入图像与参考图像之间的相关性测度来判断目标（区）是否存在，并确定其位置的。如果  $f_1(j, k)$  和  $f_2(j, k)$  代表两幅需要配准的图像，那么它们的相关性测度可以用其互相关函数表示。

$$R(m, n) = \frac{\sum_{i=1}^J \sum_{k=1}^K f_1(j, k) f_2(j + m, k + n)}{\sqrt{\sum_{i=1}^J \sum_{k=1}^K f_1^2(j, k)} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^J \sum_{k=1}^K f_2^2(j + m, k + n)}} \quad (5)$$

算法很费时间，难以实时处理。能够实时处理的相关函数是

$$E(m, n) = \min \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K |f_1(j, k) - f_2(j + m, k + n)| \quad (6)$$

(6) 式在一定条件下可以改写成：

$$E(m, n) = \min \sum_{j=1}^J \left| \sum_{k=1}^K f_1(j, k) - \sum_{k=1}^K f_2(j + m, k + n) \right| \quad (7)$$

这样就把一个二维的问题化成了二个一维问题，在计算时间上大大地缩短了。用 TMS32010 就可以实时完成  $64 \times 64$  象元窗口的相关运算。匹配误差最小的点就是匹配点也就是要探测的目标（区）位置。

在运用相关算法时，可采用二值输入图像消除假的相关峰。利用图像的边缘轮廓进行匹配可以使相关峰锐化。相关算法不受目标的大小、形状的限制，也不受复杂背景的影响，是比较高级的图像识别方法。目前的问题是如何得到目标本身的参考图像以解决初始捕获时人工干预的问题。

#### 4.6 多目标编批法

要实时测量多个目标的位置时就需要采用编批的方法。编批的基本思想是把视场中每个目标相对于行、场同步脉冲的位置采下来送到计算机去与已存的目标位置相比较，若是相差小于一定范围就认为是同一目标予以合并，否则认为是新的目标。一场扫描结束，所有的目标位置都被记录下来，并且按发现顺序被编号，还可以实时输出目标的大小、长宽比等其它目标特征。

用 320C25 作 CPU，最多每行可以允许 4 个目标，垂直方向允许多少受目标大小和互相交叉的情况限制。多目标编批要对目标运动参数理解，属于计算机视觉的内容。

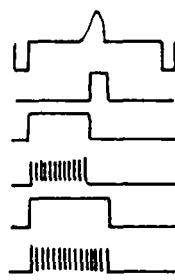


图 12 脉计数法

#### 4.7 亚象元定位法

在卫星照像和卫星激光通讯那样的远距离精密跟踪测量中,已经要求在电视靶面上的测量误差接近  $1\mu\text{m}$ ,而 CCD 象元最小尺寸为  $6\mu\text{m}$ ,这时就要求采用亚象元定位法。如果目标在靶面上的像点呈一定大小的斑点,且可以认为像斑内的亮度呈高斯分布,只要像斑有效面积大于一个象素,就可以采用内插法,通常是用抛物线拟合光斑的能量分布,然后求出抛物线顶点来确定目标像斑的中心位置。内插法的计算精度与所取的计算点数以及拟合方法有关。可以适当离焦使像斑覆盖更多像素以提高内插精度。使用内插法可以将定位精度提高 1~2 个数量级。

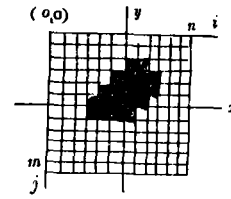


图 13 计算重心的像面座标

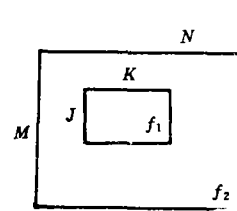


图 14 输入图像与参考图的关系

## 5 小 结

跟踪与测量电视技术有了很大进步。图像传感器从光导管摄像机换成了固体图像传感器;视频信息处理技术由模拟信号处理技术发展到了数字图像处理技术,发展到数字图像处理技术又发展到光、机、电混合图像处理技术,已具有了光电对抗的能力;取脱靶量的方法从模拟电子学方法发展到数字图像处理技术,进入了计算机视觉的研究;跟踪测量电视系统的性能从只能适应均匀背景中的单目标发展到能跟踪测量复杂背景中的运动多目标;测量精度已迈向亚象元。这只是跟踪测量电视领域中取得的部分进步。

当然与国外先进技术水平相比,我们还存在不少差距。在低对比视频信息处理、高帧频电视跟踪、多目标实时测量等方面的研究工作还刚刚开始,我们应该发挥光、机、电各方面的综合优势,把跟踪测量电视技术再提高到一个新水平。

### 参 考 文 献

- [1] 孙仲康、沈振康,《数字图像处理及其应用》,国防工业出版社,1985
- [2] 宋建中、王毅、魏忠和,《电视跟踪》,全国仪器仪表会议,1979
- [3] 《反坦克导弹译文选》,机电部第 203 所
- [4] 《固体图像传感器及其应用》,重庆大学出版社,1992 年
- [5] A. Gilbert et al, A real-time video tracking system, IEEE Trans., on PAMI, 2 47—56 (Jan. 1980)
- [6] Bruce. G. Batchelor, 《Pattern Recognition》
- [7] D. Casasent, Electro Optic Target Detection and Object Recognition, SPIE, Vol. 762 Electro—Optical Imaging System Integration (1987)
- [8] 宋建中、节洪魁,用于电视跟踪的微型实时图像处理系统,第一届全国实时图像处理研讨会,1988

## Recent Development of Tracking and Measuring TV Techniques

Song Jianzhong

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

A brief introduction on the studies of image sensors, video information processing and the auto-measuring of a deviation from the center of a field of view is represented in the paper. It shows one aspect of the recent development of Tracking and measuring TV techniques.

Key words: Image Sensor, Video Information Processing, Measuring of Deviation