

微光电视在光测设备上应用的若干问题^{*}

宋建中 韩德贵

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130021)

摘要 本文重点对微光电视的动态范围窄和噪声大两个问题进行了比较详细的探讨。为了保证昼夜工作的动态范围, 必须有光学调光, 自动靶高压控制和自动增益控制及强光保护等多个环节协调工作。对微光电视的椒盐噪声采用中值滤波最有效, 针对具体情况, 也可以采用信号延迟相加, 调整背景光及降低增益等适用于实时处理要求的办法。

关键词: 微光电视; 动态范围; 椒盐噪声; 电视跟踪测量

1 引言

微光电视是在微光夜视技术和电视技术的基础上发展起来的一门新技术。将微光电视应用于光测设备, 与电视跟踪测量技术相结合, 有效地提高了电视跟踪测量设备的性能, 拓宽了其应用范围。实践证明, 微光电视技术也是促进电视跟踪测量技术快速发展的一个重要技术手段。

就微光电视本身而言, 其原理与普通电视的原理完全一样。所不同的仅在于微光电视可在景物照度小于 $10^{-2}lx$ 的光线下正常成像。为达到这项技术指标, 在普通电视基础上, 采取了一些特殊技术措施。目前已有许多高性能的摄像器件和整机出售。现阶段, 微光电视大致可分为像增强器耦合视像管、像增强器耦合 CCD 摄像机和微光 CCD 摄像机三大类型。按工作方式分类, 前两种类型属于电子激发方式, 微光 CCD 摄像机属于光子激发方式。目前纯光子激发方式的微光 CCD 摄像机市场上还不多见, 主要还是视像管或 CCD 配接像增强器这种类型的产品。

图 1 是 CCD 配接像增强器的 ICCD 摄像机原理框图。入射光通过有自动控制快门的镜头到达像增强器的高灵敏的光电阴极靶面上, 微通道板将图像不失真地传送到高分辨力的 CCD 靶面上。其它部分, 除了控制光电阴极的负高压产生和调光系统比较复杂以外, 与普通 CCD 摄像机没有差别。像增强器的主要性能见表 1。

* 收稿日期: 1994年8月10日

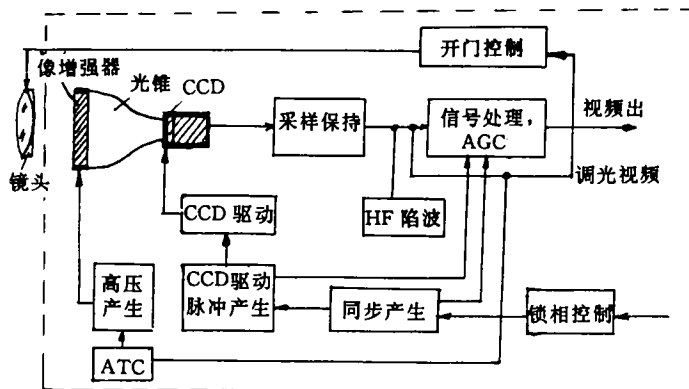


图 1 ICCD 原理框图

表 1 像增强器的主要性能

	二代	二代半	超二代	三代
分辨率	28lp/mm	34lp/mm	36lp/mm	36—38lp/mm
灵敏度	240 μ A/lm	350 μ A/lm	550 μ A/lm	1000 μ A/lm
信噪比	3.8	6.0	20.0	18.0
寿命	8kh	12-15kh	12-15kh	12-15kh

由于采用了像增强器，就给实际应用带来一些特殊要求。在实际应用中，由于目标的运动速度、目标的尺寸和亮度等特性以及使用环境的不同，也有一些特殊问题在工程设计时应给予充分的考虑，下面仅就微光电视的自动调光问题和噪声抑制问题进行讨论。

2 微光电视的自动调光问题

微光电视摄像机的像增强器在工作时应避免强光长时间照射，否则会导致像增强器损坏。因此，如何保证微光电视能在允许的靶面照度下正常工作是微光电视系统首先要考虑的一个重要问题。

通常靶场光测设备加装微光电视后，能昼夜工作。根据照明工程协会 (Illuminating Engineering Society) 提供的数据表明，夏季正午旷野的照度为 7000~10000fc，相当于 $7.5 \times 10^4 \sim 10.8 \times 10^4$ lx，而夜间无月光下的景物照度为 10^{-5} lx 昼夜工作的照度变化范围达 $10^9 : 1$ 。要使微光电视系统能适应这么大的变化范围，调光系统与普通电视或摄影的调光系统不同，须要有以下三个部分组成：

2.1 自动调光的光学系统

微光电视的光学系统必须有自动调光措施，它可以是控制可变光圈或变密度盘，使投射

到光电阴极面上的光强保持相对恒定。通常是利用摄像机输出的视频信号的幅度与入射光强成正比这一关系,检测视频信号的幅度并与予置的基准电压相比较来控制镜头的光圈或变密度盘处于最佳位置。光圈和变密度盘能控制的动态范围有限。变密度盘只有 512 倍,光圈系统可以达到 $10^4:1$,但关得太小时会有衍射产生,所以在采用自动光圈的系统中,应在镜头中心处镀一个渐变的中性滤光片,对 10^6lx 的 ICCD,其透过率衰减 $1:1400$ 倍。这样光圈可以不必关死。

微光电视对光学系统的自动调光要求比普通电视更高,可以概括为以下几点:

- a. 响应速度要快,一般应小于 0.5 秒;
- b. 灵活可靠,不能有误动作;
- c. 调整精度高,在光学系统的进光量偏离理论值时,迅速发出调整信号,光栏叶片或变密度盘能准确地停在理论位置并能连续微调;
- d. 光学系统(包括调光小系统)不允许漏光,并采取消杂光措施;
- e. 采用背景和峰值混合调光方式,防止亮点目标造成局部强光过载。

2.2 自动靶增益控制(ATC)

控制光电阴极靶面的负高压,可以改变像增强器的灵敏度,ATC 的功能就是控制加在光电阴极上的负高压随着入射光强向相反方向变化。光电阴极的负高压与像增强器的增益的关系如图 2 所示。当高压达到 -9000 伏时,增益达到最大值,景物照度如果再降低,ATC 就不起作用了。这时要控制视频放大器的增益。

2.3 自动增益控制(AGC)

控制视频放大器的增益,也是控制调光系统灵敏度和动态范围的一环。视频放大器增益提高之后会导致带宽下降,引起分辨力下降。所以 AGC 倍数不能太大。

通过以上三个环节的控制才能达到 $10^9:1$ 的进光控制范围。此外还得加上强光保护电路,当光电阴极面上的照度高于予置的偏压时,高压自动切断,当入射光降至安全限度以下时,高压又重新恢复正常工作,从而保护微光摄像机不会被强光烧毁。

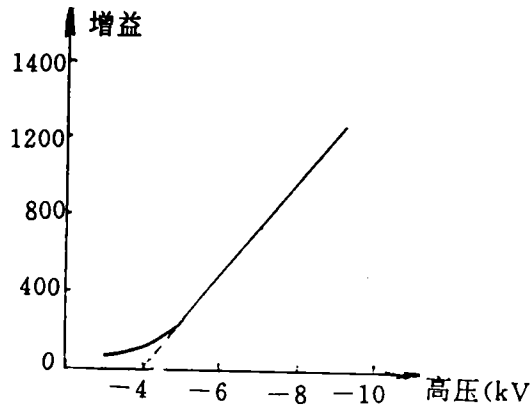


图 2 像增强器增益与高压的关系

3 信噪比

电视系统的信噪比,主要取决于所采用的摄像器件及视频信号处理电路前置级。电视系统的信噪比与图像质量之间的关系见表 2。

表 2 信噪比与图像质量之间的关系

图像等级	S/N (dB)	V_s/V_n	对图像清晰度的影响
1	60	1000	完全看不到噪声干扰
2	50	300	稍微能看到一点干扰
3	40	100	能看清噪声, 但对图像清晰度几乎无影响
4	30	30	对图像有影响, 但不妨碍观看
5	20	10	对观看稍有妨碍
6	10	3	对观看有明显妨碍
7	0	1	妨碍严重, 图像不能形成

从提取信号难易角度考虑, 要求系统的信噪比应大于 30dB。这时 $V_s=1V$, $V_n=0.03V$ 。目前较好的微光电视摄像机的信噪比可达到 40dB 以上。但在微光条件下工作时, 噪声的幅度、密度和噪粒尺寸都比较大。像增强器产生的噪声宽度典型值为 $65\mu m \sim 150\mu m$ 。图 1 是 SIM-ICCD-04S 型微光电视摄像机在微光条件下的噪声图。该图像是经过处理的, 为了看起来清楚把每个噪声点都进行了构边处理, 所以一个点子就成了一个小圆圈。

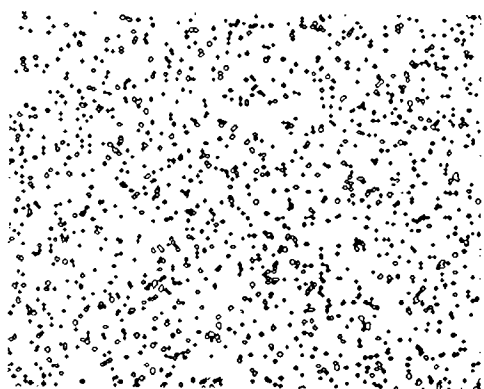


图 3 SIM-ICCD-04S 的噪声图像

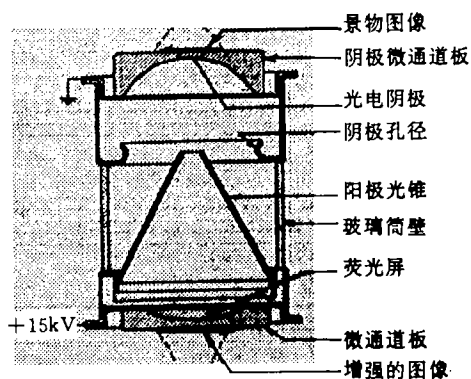


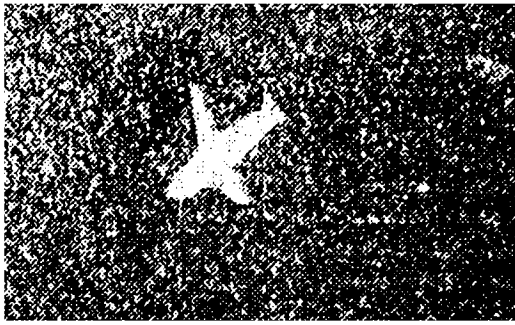
图 4 像增强器的基本结构

微光电视系统的噪声主要来源于像增强器。像增强器的结构如图 2 所示。

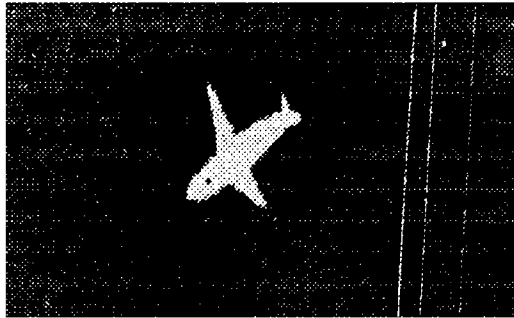
设置在视像管或 CCD 前边的像增强器实际是一个高增益的光—电—光转换装置。其增益一般可达 $10^4 \sim 10^5$ 倍。入射光投射到像增强器的接收面上, 激发电子发射 (有的像增强器是多次电子发射)。这些电子再激发像增强器的荧光屏。然后将荧光屏上的图像耦合到视像管或 CCD 的接收面上, 完成图像的增强。由于电子的散射、荧光粒度和发光效率的差异、光子、电子的入射角不同、发光材料、发射材料的不均匀性、耦合通道的偏差和不均匀性等因素的存在, 就导致散粒噪声的产生, 使图像的信噪比变坏。图 3a 是一幅信噪比很差的图像, 它是用 ICCD 摄像机在昏暗的室内摄取的。下面讨论如何消除或抑制这种噪声的几种措施。

3.1 中值滤波

中值滤波是一种能有效抑制噪声的非线性信号处理技术^{[1][2]}。中值滤波器的特点是能很好地去掉脉冲噪声和椒盐噪声,同时又能保护图像的边缘不被劣化。图 3b 是图 3a 经过 3×3 中值滤波后经阈值切割后的图像。噪声全部除掉而图像边缘、形状都没有明显变化。



(a) 有噪声的原始图像



(b) 经 3×3 中值滤波和切割后的图像

图 5 ICCD 摄像机拍摄的有噪声的图像和经中值滤波后的图像

中值滤波已有不少实时算法和硬件实现的方法^{[3]、[4]},中值滤波所花费的时间只有几行的扫描时间,完全可以满足跟踪测量电视的实时性要求。

3.2 信号延迟相加

中值滤波效果好,但实现起来比较复杂。在某些场合,消除这种噪声,采用信号延迟相加的办法也很有效。将一行信号延迟时间 τ ,再与该行信号相加,可以滤除宽度小于 τ 的脉冲噪声,其原理如图 4 所示。一行信号延迟后与原信号形状是一样的,两者相加之后,脉宽大于延迟时间的重叠部分在幅度上增加了一倍,而所有脉宽小于延迟时间的噪声信号仍保持原来幅度,只是相加后噪声密度增加了。然后用一个阈值限幅放大后就可以剔除绝大部分噪声。原信号中的幅值太高或宽度略大于延迟时间的噪声仍可能保留在处理后的信号中,但它们的宽度很窄,随机性也很大,容易去除。

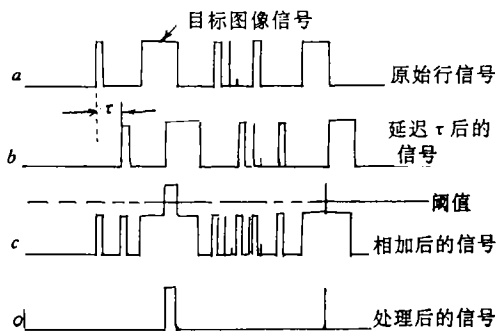


图 6 延迟相加去除脉冲噪声的原理示意图

这种方法比较简单,有一定实用价值,问题是处理后的目标前沿的位置也延迟了同样时间,这对跟踪测量电视来说,在水方向会引入测量误差,必须修正。

3.3 适当调整背景光

微光电视摄像机的噪声除背景光的减弱而增加,因为背景光越弱,像增强器的增益越高,噪声也就越明显。因此,如果在使用中允许进光量大一点(比如白天或傍晚使用),提高一点靶面照度,微光电视摄像机的噪声就可以大大减少。但要注意调光适当,最好是使电视

画面比较干净但仍能看到一点噪声（不妨碍信号处理）为好。否则，若一点也看不到噪声，会缩短像增强器的使用寿命。

3.4 适当降低像增强器的增益

在满足任务要求的前提下，适当降低像增强器的增益也是一条可行的途径。单纯提高像增强器的增益并不能提高跟踪测量电视的作用距离。提高信噪比才是最有效的办法。如果目标投射到靶面的能量够用，适当降低像增强器的增益往往会有效地减少噪声，提高信噪比。

3.5 帧相关处理

对于静止的图像可以采用帧相关处理的办法。让连续的几帧及至几十帧图像相加，利用图像信号的相关性和噪声信号的非相关性，可以将噪声抵消而图像增强。但这种方法对跟踪测量电视是不适用的，对动目标图像也不适用。

4 结束语

微光电视系统与普通电视系统的差别主要是在于使用了微光电视摄像机。由于微光电视摄像机的像增强器有很高的灵敏度，同时也带来了动态范围窄、信噪比低等问题。当用于把靶光测设备上时，为了能在昼夜工作，就必须有一个高性能、高可靠的调光系统。一般说这个调光系统的调光范围应为 $10^9:1$ ，还得加有强光保护电路。这个调光系统应由光学小系统、自动靶高压控制（ATC）和自动增益控制（AGC）三级控制联合组成。

在靶场光测设备上应用的另一个问题是微光电视摄像机的噪声问题，其噪声的特点是脉冲式的随机散粒噪声，不能采用滤除白噪声的办法来消除。可以采取中值滤波，延迟叠加，帧相关等办法消除噪声也可以采取适当增加背景光或降低像增强器的增益来减少噪声。由于靶场应用还不同于夜视侦察，可以在信噪比和灵敏度两者中间适当折中一下。本文介绍的方法都是针对不同场合经过实验的方法，较好地解决了工程上的实际问题。

参 考 文 献

- [1] Ari Nieminen, Comments on "theoretical analysis of the max/median filter". IEEE-TRANS, 1987, ASSP-35 (1): 60
- [2] Gonzalo R. arce, Theoretical analysis of the max/median filter. IEEE-TRANS, 1988, ASSP-36 (5): 826.
- [3] E. Ataman, A fast method for real-time median filtering. IEEE-TRANS, 1980, ASSP-28 (4): 415
- [4] 娄可, 王海根, 实时中值滤波器的研究及硬件实现. 第六届模式识别与机器智能学术交流会论文集, 1987
- [5] Jaakko T. Astola, On computation of the running median. IEEE-TRANS, 1989, ASSP-37 (4): 572
- [6] [美] 黄煦涛, 二维数学信号处理 I. 科学出版社, 1985

Several Problems in Applications of Optical Measurement Equipments with Faint Light TV Camera

Han Degui, SongJianzhong

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun130021*)

Abstract

A more detailed discussion of two problems about the narrow dynamic range and serious noise of a faint light TV camera is presented in this paper. To ensure the faint light TV camera working perfectly at day and night, multiple links have to be used together, which include optical adjustment, automatic control of the high voltage of the intensifier of the faint light TV camera, and automatic gain control. A median filter is very effective for removing the spiced salt noise of a picture from a faint light TV camera. On certain conditions, some methods are also effective for real-time processing, such as signal delay and superimposition, background light trimming and gain reduction and so on.

Key Words: Faint light TV, Dynamic range, Spiced salt noise, Tracking and measuring television