

# 光度测量图像智能阈值降噪方法

高 策

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130022)

**摘要:** 为了提高光度测量精度, 通过对光度测量过程中的入射散粒噪声、天光散粒噪声、暗电流散粒噪声、读出噪声的来源进行详细分析, 有针对性地描述了降低各种噪声的方法, 并针对暗电流散粒噪声与读出噪声及其他噪声残留提出了一种基于灰度直方图统计的智能阈值降噪方法; 大幅消除了噪声对测量结果的影响, 通过对恒星测光图像降噪前后光度计算结果的精度比对发现, 采用这种方法将光度测量精度从原来的 0.314 Mv 提高到 0.092 4 Mv, 精度改善效果明显, 并且解决了使用 CCD 测量光度结果不稳定的问题, 具有较好的应用价值。

**关键词:** 光度测量; 测量误差; 测量精度; 阈值; 散粒噪声

## An Intelligent Threshold Noise Reduction Method for Images in Photometric Measurement

Gao Ce

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Science, Changchun 130022, China)

**Abstract:** By analyzing the source of the incident shot noise, sky shot noise, dark-current shot noise, readout noise in the process of photometric measurements, it describe a method to reduce all kinds of these noise to improve accuracy of photometric measurement. Put forward an intelligent threshold noise reduction method for readout noise, dark-current shot noise and other residual noise. Substantially eliminate the impact of noise on the measurement results. Using stellar images before and after reducing the noise to calculate the photometric results, it can be seen that the method improved photometric accuracy from the original 0.314 Mv to 0.092 4Mv. It increases the accuracy of obvious effect and resolves instability problem of the photometric measurement using CCD.

**Keywords:** photometric measurement; measurement error; measurement accuracy; threshold; shot noise

### 0 引言

光度测量指测量来自天体或其他人造空间目标的有限波段范围内的辐射量, 以星等为单位表示。光度测量手段主要采用光度计法和 CCD 测量方法<sup>[1]</sup>。随着 CCD 测光技术的发展, 目前多采用微光 CCD 进行光度测量, 通过对光学图像的处理计算出天体或其他人造空间目标的亮度, 为研究天体、人造空间目标的各类物理性质提供重要依据。天体目标光度测量的光度值以星等  $m$  表示, 光度值与目标亮度的对应关系符合普森公式  $m = -2.5 \lg E$ <sup>[2]</sup>。理想状态下保持光学系统和探测器状态不变, 对同一天区连续采样, 得到的所有像元的输出信号大小应该是一样的。但实际得到的测光结果几乎每帧图像都会存在差别, 测量精度非常不稳定, 这是由于信号中叠加了多种不规则的噪声, 这些噪声使测量精度降低。目前比较常用的数字图像滤波技术, 如中值滤波、均值滤波、低通滤波都是不考虑噪声源的情况下直接针对图像灰度矩阵的处理算法, 降低噪声的同时也严重影响了测量目标的信号量, 往往得不偿失。因此必须分析噪声产生的原因, 据此采用相应的手段在不影响信号的情况下抑制特定噪声, 提高信噪比。尤其是在针对暗弱空间目标的光度测量过程中, 采用这种方法是非常必要的。

### 1 噪声源分析

入射光子本身包含的噪声和探测器无关, 是入射光信号所固有的外部噪声; 探测器内部的噪声主要有暗电流噪声和读出噪声。

光度测量图像中包含的噪声主要有以下几种。

1) 入射散粒噪声: 对入射光的测量值进行统计发现, 测量结果符合泊松分布的统计起伏。 $P(r) = e^{-k} \cdot k^r / r!$ , 入射光信号为  $S$ ,  $S$  即为平均值  $k$ , 探测器的量子效率为  $Q$ , 入射散粒噪声  $N_s = \sqrt{QS}$ 。

2) 天光散粒噪声: 夜间天空背景也有一定亮度, 称为天光。天光包括大气自身的发射和大气对星光的散射, 周围的光污染等。天光散粒噪声  $N_{sky} = \sqrt{QB}$ , 其中  $B$  为天光光子数。因为天光存在区域性差异和起伏, 无法直接扣除, 所以设法选好优良的观测地点, 使天光尽量小是降低天光散粒噪声的唯一方法。

3) 暗电流散粒噪声: 暗电流是由 CCD 器件产生的热电子形成的, 服从泊松分布  $N_D = \sqrt{D}$ ,  $D$  为热电子数。暗电流本身是不影响测量精度的, 可以在信号中减去, 但暗电流不稳定, 电流的起伏也就是暗电流散粒噪声是无法与信号区分的。探测器制冷是最有效的降低暗电流影响的方法, 一般降温到  $-50^\circ\text{C}$  以下, 几分钟曝光时间内的暗电流影响就可以忽略不计了。虽然降低温度能降低暗电流对成像的影响, 提高信噪比, 但同时也降低了 CCD 的量子效率, 所以温度也不是越低越好, 要选择合适的温度。

收稿日期: 2014-04-24; 修回日期: 2014-06-09。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60878052)。

作者简介: 高 策(1981-), 男, 吉林长春人, 硕士, 助理研究员, 主要从事计算机应用以及光电测控技术方向的研究。

4) 读出噪声: CCD 系统读出过程中产生的特有噪声, 包括清零噪声、量化噪声、片上放大级噪声、 $1/f$  噪声、转移噪声、模拟处理噪声等统称为读出噪声  $N_R$ 。

根据误差理论, 对不相关随机误差, 观测总噪声为  $N$ , 则有公式 (1):

$$N = \sqrt{N_s^2 + N_{sk_y}^2 + N_D^2 + N_R^2} \quad (1)$$

信噪比 SNR 见公式 (2):

$$SNR = \frac{QS}{\sqrt{N_s^2 + N_{sk_y}^2 + N_D^2 + N_R^2}} = \frac{QS}{\sqrt{QS + QB + D + N_R^2}} \quad (2)$$

针对 CCD 的单个像元计算, 得到公式 (3):

$$SNR = \frac{QS}{\sqrt{QS + QB + Dt + N_R^2}} \quad (3)$$

其中:  $Q$  为 CCD 相机固定参数, 背照式 CCD 在可见光波段一般可以达到 90% 或更高。  $S$  为入射光信号, 具体表示为单个像元在单帧积分时间内获取的光电子数, 计算方法见公式 (4)。

$$S = \frac{I_0 A_s \tau_{opt} \tau_{atom} K_{CCD} t}{2.512^{Mv} K} \quad (4)$$

公式 (4) 中  $0Mv$  目标在大气层外的光子流量密度为  $I_0 = 3.44 \times 10^{10} e^- / m^2 \cdot s (0.45 \mu m \sim 0.75 \mu m$  光谱波段),  $A_s$  为光学系统入瞳面积,  $\tau_{opt}$  光学系统透过率,  $\tau_{atom}$  大气透过率,  $K_{CCD}$  为 CCD 的占空比,  $t$  为积分时间,  $K$  目标在 CCD 上所占地元数。

$B$  为天光光子数

$$B = \frac{I_{b0}}{2.512^{Mvb}} \cdot A_s \cdot A_p \cdot \tau_{opt} \cdot K_{CCD} t \quad (5)$$

公式 (5) 中  $0Mv/sec^2$  天空背景的光子流量密度  $I_{b0} = 3 \times 10^{10} e^- / m^2 \cdot s \cdot sec^2 (0.45 \sim 0.75 \mu m$  光谱波段),  $Mvb$  为天空背景亮度, 单位为星等。  $A_p$  为单个像元所占视场角面积, 单位为  $sec^2$ 。

$D$  为每个像元每秒暗电流电子数, 为 CCD 相机指标。

$N_R$  为读出噪声的最大值, 为 CCD 相机指标。

由公式 (3) 分析得出, 入射光信号越强 (非饱和状态下), 量子效率越高, 背景天光越暗, 暗电流越小, 读出噪声越小则信噪比越高, 也就是噪声的影响越小。根据  $3\sigma$  定则, 光度测量过程中的信噪比至少要大于 3, 实际测量过程中当然希望信噪比越高越好, 为达到这目的, 我们采取了相应的方法抑制噪声的影响。

## 2 抑制噪声方法

通过选择优良的观测点降低天光散粒噪声, 降低 CCD 的温度能有效抑制暗电流散粒噪声, 而天光散粒噪声, 读出噪声就只能依靠图像处理的方法消除其对测量结果的影响。图像处理中降低噪声的方法有很多, 噪声门限法、邻域平均法、加权平均法以及中值滤波, 这些方法有个共同的问题, 就是不仅会抑制噪声, 也会不同程度的影响视场内恒星和测量目标灰度值, 而光度测量的方法是通过视场内恒星作为灰度基准测量目标亮度, 影响到目标与恒星的灰度值, 势必会对最终的测量精度造成影响。而采用低通滤波虽然滤波效果比较理想, 但处理时间较长, 满足不了准实时测光的要求。据此我们采用了一种基于灰度直方图统计的智能阈值降噪方法。

图 1 是测光过程中拍摄的存在明显噪声的 CCD 测天体图片, 图 2 是图 1 经过二维傅立叶变换得到频谱图。



图 1 CCD 测天体图片

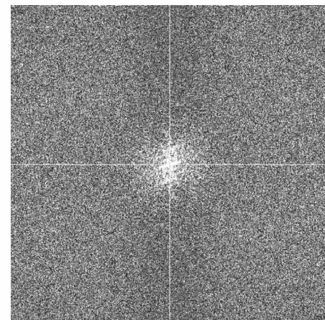


图 2 傅立叶变换得到频谱图

从频谱图分析, 图中亮的点数较多, 说明实际图像边界分明, 而且边界两边像素差异较大的。也就是说背景和噪声之间的灰度差是比较大的。

对图 1 进行直方图统计如图 3, 统计结果印证了对频谱图的分析。

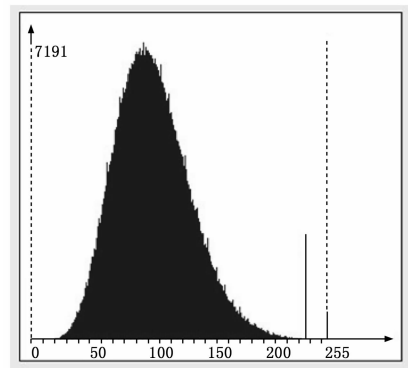


图 3 灰度直方图

直方图与频谱图反映出一致的现象, 即背景噪声灰度分布与目标灰度分布有明显的界线, 符合双峰直方图的特点。设动态阈值为  $\theta$ , 由于背景在直方图中所占的面积较大, 与目标面积相差悬殊, 灰度平均值位于背景面积内, 无法将两峰分开。根据在直方图中目标始终在背景的右侧这一特点, 采用如下方法确定阈值:

首先对直方图进行判断, 去除饱和像素影响, 在光度测量过程中不允许目标和测量基准处于饱和状态, 所以在测量时会

利用光学系统与相机参数进行调整,调整后如果仍有饱和的像素则当成相机瑕点进行处理。

从灰度最低值开始寻找,找到第一个频数拐点对应灰度值为  $\theta_b$  ;

从灰度值最高值开始寻找,找到第一个频数拐点对应的灰度值为  $\theta_i$  ;

$$\theta = \theta_i - (\theta_i - \theta_b) / 12 \tag{6}$$

$f(x,y)$  为原图像,  $h(x,y)$  为降噪处理后图像。

$$h(x,y) = \begin{cases} 0, & f(x,y) < \theta \\ f(x,y), & f(x,y) \geq \theta \end{cases} \tag{7}$$

### 3 工程实现

图像的降噪处理通过光度测量软件实现,见图 4。

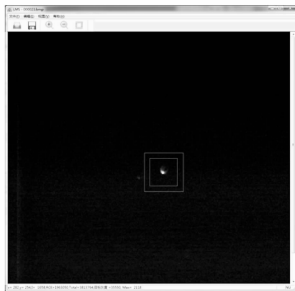


图 4 光度测量软件主界面

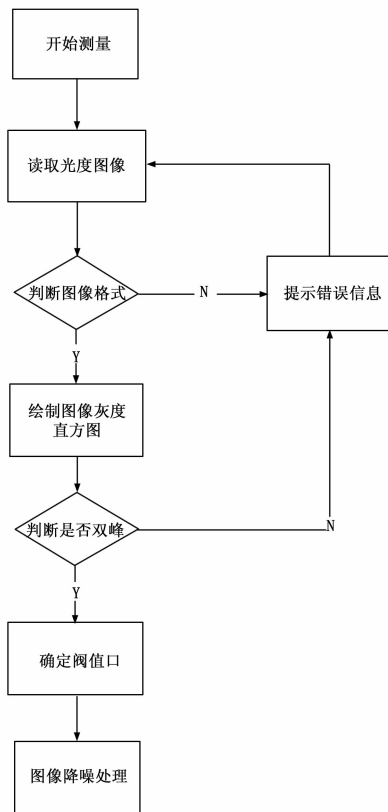


图 5 智能阈值降噪处理流程图

工程实现方法如图 5。首先打开光度测量软件开始测量,读取光度图像,判断图像格式是否为约定信息格式,如果格式验证失败则提示错误信息并返回读取界面,如果信息格式正确

则绘制图像灰度直方图,对图像进行波峰检测,判断是否为双峰直方图,如果不是则说明该图像不能用于光度测量,提示并返回读取过程,如果为双峰直方图则采用公式 (6) 计算出阈值  $\theta$ , 根据公式 (7) 对图像进行降噪处理。

### 4 实验验证

采用智能阈值降噪方法对图 1 进行处理,得到处理后的图像见图 6。

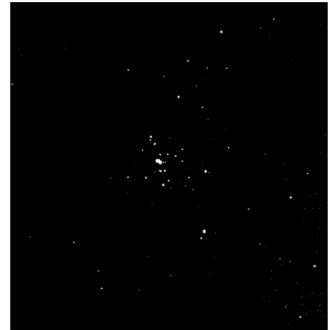


图 6 采用智能阈值降噪处理后图像

表 1 是采用某型号光电望远镜进行光度测量的实验精度结果,以原图像  $f(x,y)$  和降噪图像  $h(x,y)$  作为光度测量的源图像,对目标(指定任一视场内恒星作为目标)和比对恒星(选择视场内其它恒星作为比对基准)进行灰度值计算得出的测量结果。

表 1 光度测量精度结果

真值 (mV)	原图像(mV)		降噪图像(mV)	
	测量星等	测量误差	测量星等	测量误差
7.82	8.018 111	0.198 11	7.867 596	0.047 596
8.43	8.367 163	-0.062 837	8.317 440	-0.112 56
9.56	9.778 309	0.218 31	9.412 780	-0.147 22
10.01	9.769 510	-0.240 49	9.898 270	-0.111 73
10.23	9.953 823	-0.276 177	10.295 69	0.065 69
9.78	10.166 140	0.386 140	9.843 766	0.063 766
11.02	10.543 220	-0.476 776	10.995 63	-0.024 37
测量精度		0.314 0		0.092 4

测量结果显示测量精度由原来的 0.314 mV 提高到 0.092 4 mV,降噪处理后对精度的提高效果明显。

从图 4 中还可以看出,除了星像以外还有一些噪声,这些噪声与星象灰度值接近,较难区分,但光度测量过程中是需要星库信息作为先验条件的,所以较易分辨出这些残留噪点,只要不选择这些噪点做基准,对最终的测量结果就不会产生任何影响。

### 5 结束语

通过对噪声源的深入分析,采用针对光度测量的降噪方法,通过选择优良的观测点降低天光散粒噪声,降低 CCD 的温度能有效抑制暗电流散粒噪声,采用智能阈值降噪的方法降低读出噪声以及其他随机噪声的影响,噪声抑制效果明显,不影响目标灰度提取,使目标的边缘更加清晰,在某型号光电望远镜设备上进行了光度测量实验,从实验结果可以看出光度测

```

HI_S32 HI_MPI_VI_EnableDev (VI_DEV ViDev); //启用
视频输入模块;
HI_S32 HI_MPI_VI_GetFrame (VI_CHN ViChn, VI_
FRAME_INFO_S *pstFrameInfo); //获取视频图像;
HI_S32 HI_MPI_AI_Enable (AUDIO_DEV AudioDev-
Id); //启用音频输入模块;
    
```

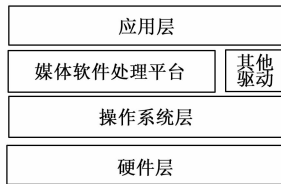


图 4 系统层次图

### 3 实验结果与分析

头戴式短距离无线摄录传输系统是以头戴式摄录终端为基本, 将音视频数据流发送至远端, 两者进行点对点无线连接的系统。当前测试阶段, 头戴式终端集成了试验用摄像头, 是系统的输入设备, 同时集成了嵌入式处理芯片及数据传输通信模块等系统核心组件。显示端采用了当下兴起的 Windows8 平板电脑。CPU 为 x86 架构的 Intel Z3770, 2 G 内存, 无线网络标称 150 Mbps, 应用开发模式的流媒体播放器。实验结果显示, 采用 H.264 压缩算法的图像传输流畅, 视频分辨率达到 1 080 p 级别, 在使用秒表进行连续测试时, 没有丢帧现象发生, 能够满足 24 fps 的基本要求, 通过截图表明, 画面延时在 1 s 左右。图 5 为秒表记录测试。



图 5 秒表记录测试

### 4 结束语

利用海思 Hi3516 开发平台, 实现了嵌入式操作系统、

摄像头、编解码、Wi-Fi 模块等设备协调工作的开发, 为视频直播提供了一种新的方法。系统可以根据使用者需求, 对摄像头进行选择, 满足拍摄前方、己方等灵活设置的需要。采用 Windows 平板电脑, 可以直接运行视频后期剪辑处理需要使用到的大量专业软件, 进一步减小处理视频所需的时间。头戴式短距离无线摄录传输系统摒弃了传统电视直播设备沉重, 剪辑编码时间长的困扰, 使单人单机直播变得方便快捷。

穿戴式设备中的头戴式设备在新闻、航空航天、工业等方面具有广阔的引用前景。2014 年的两会报道中已经有记者使用 Google Glass 这一典型的头戴式设备进行新闻报道。在采访交流中, 释放双手的记者更容易与被采访者进行交流。同时该系统还适用如警察、工商、城管、军队等需要记录任务执行过程的场合, 工作人员无需双手就可以完成通信联系、画面传递等工作。

经实验验证, 该系统发热适中, 具有较强的通信稳定性与数据传输可靠性, 运转情况良好, 可适用于多种需要音视频存档、实时播放的环境。

#### 参考文献:

- [1] 金福祿, 刘广东, 王剑平. 穿戴式平面印刷 PIFA 的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (5): 1168 - 1170.
- [2] 李 锋, 秦嘉凯. 基于嵌入式 Linux 的实时网络视频监控系 [J]. 电视技术, 2011, 35 (23): 145 - 148.
- [3] 方志成. 基于海思芯片的高清 IP 芯片级解决方案 [A]. CPSE 第十四届安博会 (2013.10.29 - 11.1 深圳会展) [C]. 2013.
- [4] Lappalainen V. Performance of H.26L Video Encoder on General-purpose Processor [A]. Proceedings of the IEEE Int'l Conference on Consumer Electronics. [S. l.]: IEEE Press [C]. 2001: 266 - 267.
- [5] 刘喜龙, 石中锁. 基于 H.264 的嵌入式视频服务器的设计 [J]. 微计算机信息, 2005, 21 (1): 133 - 134.
- [6] 曹贞贞, 李志康, 薛 松. 基于无线网络技术的数字视频监控系统 [J]. 计算机工程, 2007, 33 (1): 247 - 249.
- [7] 陈 瑾, 叶 桦. 基于 Hi3512 的 3G 视频监控终端的设计与实现 [J]. 东南大学学报 (自然科学版), 2011, 9 (41): 116 - 119.
- [8] 毕厚杰, 王 健. 新一代视频压缩编码标准——H.264/AVC [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [9] 梁笃国, 张艳霞, 曹 宁, 等. 网络视频监控技术与智能应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.
- [10] 克罗赫曼. Linux 内核技术手册 [M]. 马 俊, 李 莘, 许斯乔译. 北京: 中国电力出版社, 2010.

(上接第 3030 页)

量精度由原来的 0.314 Mv 提高到 0.092 4 Mv。精度改善效果明显, 并且提高了精度的稳定性, 从而保证了光度测量的精度要求, 也证明了噪声抑制在光度测量过程中的重要性。

#### 参考文献:

- [1] 高 昕, 王建立, 周泗忠, 等. 空间目标光度特性测量方法研究 [J]. 光电工程, 2007, 34 (3): 42 - 45.
- [2] 孙 青, 李 梅, 王春鸿, 等. 光度测量系统中的光子计数采集卡 [J]. 光电工程, 2004, 31 (S): 76 - 79.

- [3] 刘春香, 郭永飞, 李 宁, 等. 基于 DSP 的嵌入式实时图像增强系统 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (2), 529 - 531.
- [4] 王 彬, 何 昕, 魏忠慧. 采用单目标图像特征直线的飞机姿态估计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (2), 473 - 476.
- [5] 刘丹平, 段钦义, 李云伟, 等. 适用于光电跟踪的初始目标区域估计法 [J]. 光学精密工程, 2008, 16 (11): 2286 - 2289.
- [6] 熊 雪, 王 庆. 基于多视场星敏感器的三角形星图识别方法 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (1): 225 - 228.