

低信噪比下星光点目标的检测

李青, 田国昌, 汪建业

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要: 大气相干长度仪作为测量大气参数的仪器, 白天用太阳边缘(夜晚利用恒星)成像在 CCD 上, 利用到达角起伏法测量大气参数。在昼夜交替阶段, 肉眼看不到星光而太阳高度角不在可测范围而无法测量。为进行此时间段连续测量, 首先要实现低信噪比下星光点目标的检测。在选用合适红外滤波片和高灵敏度 CCD 的基础上, 对采集到的图像进行帧累加和局部增强等处理方法, 较好地完成了目标的检测。

关键词: 红外图像处理; 红外目标检测; 帧累加; 局部增强

中图分类号: TP391; P427.1

文献标识码: A

文献编号: 1673-6141(2008)01-0077-04

Detecting Star Target in Low Signal Noise Ratio

LI Qing, Tian Guo-chang, Wang Jian-ye

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: Atmospheric coherent length instrument measures parameters with edge of sun in daylight or star at night with fluctuant arrival-angle. But it can't work at the period of day and night alternating when stars can't be observed with eyes and quadrant elevation of sun is unfit for measuring, so image processing with low signal-to-noise ratio is necessary using suitable infrared filter and high-sensitive CCD while observing star in daylight. The experiment proves that little target can be detected well with frame accumulation and local enhancement method.

Key words: infrared image processing; infrared target detection; frame accumulation; local enhancement

1 引言

在利用大气相干长度仪进行大气参数测量时, 分白天和夜晚两种情况^[1], 白天利用太阳边缘, 夜晚利用星光。在昼夜交替时间段, 太阳处于地平线附近, 高度角太小无法采用太阳边缘; 同时天空亮度还较强, 肉眼看不到星光, 信噪比较差, 单用望远镜无法观测到星。为完成此时间段的测量工作, 首先要能在这一时间段探测到星光。本文就是在此背景下实现的强背景光下低信噪比星光目标的探测。

天空背景光多是空中粒子散射的太阳光, 主要集中在可见光谱波段, 因此选用红外带通滤波片可以将大部分背景光去掉。红外图像的背景可分为^[2]: 地物背景、天空背景(或称大气背景)、海天背景和太空背景。不同种类的背景, 其处理方法不完全相同。本文所涉及图像噪声主要来源于天空中粒子散射的太阳光, 可视为一种均值为零的高斯随机噪声。

为了提高 CCD 的成像灵敏度, 采用了像增强型的 CCD。星光在 CCD 上成像为几个像素的光斑, 面积太小而无法根据目标特征来提取信号^[3],

同时由于背景光较强，光斑能量较低，通常被淹没在噪声中，肉眼无法识别，如图 2 所示。受大气影响，星像闪烁，但位置偏离不大，因此考虑进行多帧累加，提高目标亮度，同时平滑部分随机背景噪声。为了提高信噪比，在帧累加之前，先对每帧进行处理，经中值滤波后再累加效果更好。帧累加后的图像，目标与背景的对比如较小，利用局部增强的方法可以把目标很好地从背景中提取出来。下面分别介绍滤波装置和图像处理过程，并给出处理结果。

2 背景分析

在昼夜交替时间测星的主要障碍如上所说是背景光太强，星光太弱被淹没，如用中性滤波片，则所有波段的能量同时减弱，对比度得不到增强，仍是无法识别目标。最好是能把背景光滤去部分，保留星光的能量，这样就增加了目标和背景的对比如。

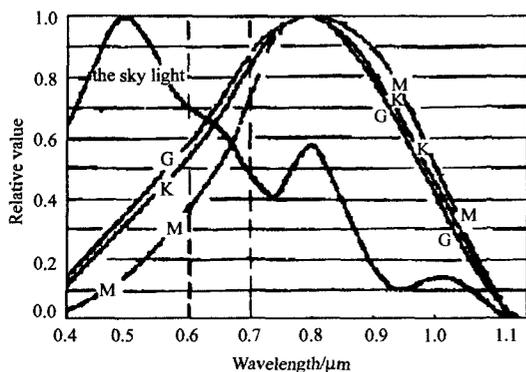


图 1 光谱型星有效光子及大气有效光子分布曲线
Fig.1 Effective photons of star and atmosphere distributing curve

根据文献 [4] 提供的天空背景光光谱和星光光谱的特性，如图 1，可以看出，背景光主要集中在可见光区，在 900 nm 以外，光谱能量已经很低。而星光光谱能量在长波区较强，峰值在 800 nm 左右。因此我们有可能在合适的探测装置下实现对昼夜交替时间段弱星光目标的探测。综合其他因素，实验中我们选用的是 900 nm 以外的红外带通滤波片。选用型号为 IXZ18/18WS-7 高探测灵敏度的像增强器型 CCD。

3 图像处理过程

对采集到的低信噪图像，进行帧累加提高目标亮度。在累加前先对每帧进行中值滤波以提高信噪比。帧累加后得到的图像目标和背景对比度仍很低，采用局部增强的方法进一步提取目标。

3.1 中值滤波

中值滤波是一种简单实用的非线性平滑滤波，它是对图像中某点邻域中像素点灰度进行排序，以此序列的中值来代替该像素点的灰度值。中值滤波器的应用非常普遍，因为对于很多种随机噪声，它都有良好的去噪能力，且在相同尺寸下比起线性平滑滤波器引起的模糊较少 [5]。因此在帧累加前，先用中值滤波进行处理可以提高信噪比，同时不会增加很大的计算量。关于中值滤波的文章有很多，这里不再做过多地介绍。

3.2 帧累加

一幅含噪图像可写为 [5]

$$g(x, y) = f(x, y) + \eta(x, y), \quad (1)$$

$f(x, y)$ 代表不含噪声的图像， $\eta(x, y)$ 代表噪声。在晴朗的白天，图像中的背景噪声主要来自天空各种粒子散射的太阳光。

如果对 k 幅不同的噪声图像取平均形成图像 $\bar{g}(x, y)$ ，表示为

$$\bar{g}(x, y) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k g_i(x, y), \quad (2)$$

则 $E\{\bar{g}(x, y)\} = f(x, y)$,

$$\sigma_{\bar{g}(x, y)}^2 = \frac{1}{k} \sigma_{\eta(x, y)}^2, \quad (3)$$

其中，在所有坐标点 (x, y) 上， $E\{\bar{g}(x, y)\}$ 是 \bar{g} 的期望值， $\sigma_{\bar{g}(x, y)}^2$ 与 $\sigma_{\eta(x, y)}^2$ 分别是 \bar{g} 与 η 的方差。在平均图像中任何一点的标准差为

$$\sigma_{\bar{g}(x, y)} = \frac{1}{\sqrt{k}} \sigma_{\eta(x, y)}. \quad (4)$$

当 k 增加时，式 (3) 和 (4) 指出，在各个 (x, y) 位置上像素值的噪声变化率将减小。因为 $E\{\bar{g}(x, y)\} = f(x, y)$ ，这就意味着随着在图像均值处理中噪声图像使用量的增加， $\bar{g}(x, y)$ 越来越趋近于 $f(x, y)$ 。

为了防止累加后像素值超出阈值 255，需要对每帧图像在累加前将像素值相应缩小一定的倍数，

即对所有累加的帧进行平均。图 3 是累加后的图像。可以看出此时能够分辨出星像的位置(矩形所示区域)。但星像与背景灰度差别很小, 还需要进一步增强目标的亮度, 提高目标和背景的对比度。

3.3 局部增强

就图像增强来说, 最关心的是一幅图像灰度的平均值和方差(或标准差)。需要计算全局平均值和局部平均值。全局平均值是整幅图像像素灰度的平均值, 局部平均值是指邻域中的平均灰度值。

令 (x, y) 为某一图像中像素的坐标, S_{xy} 表示一确定大小的邻域(子图像), 其中心在 (x, y) 。像素的平均值可按式计算

$$m_{S_{xy}} = \sum_{(s,t) \in S_{xy}} r_{s,t} p(r_{s,t}), \quad (5)$$

此处, $r_{s,t}$ 是在邻域中坐标 (x, y) 处的灰度, 且 $p(r_{s,t})$ 是与灰度值对应的邻域归一化直方图分量。

令 $f(x, y)$ 表示在图像任何坐标 (x, y) 处的像素值, 且令 $g(x, y)$ 代表这些坐标上相应增强的像素。那么

$$g(x, y) = \begin{cases} E g(x, y) f(x, y) & \text{如果 } m_s \geq k_0 M_G \\ f(x, y) & \text{其他.} \end{cases} \quad (6)$$

其中 E 、 k_0 是根据不同图像选取的特定参数, M_G 是待处理图像的全局平均值。

通过像增强后, 目标和背景的对比度明显提

高, 可以很好地检测到星光目标。

4 实验结果与分析

实验中采用 900 nm 的红外带通滤波片, 选通式像增强型 CCD。对 7:00 左右采集到的红外图像进行处理。考虑到图像细节和计算量, 本文选取 3×3 的小区域。观察图像可知, 目标灰度值略高于背景灰度, 因此式(6)中的特定参数选取较小的 k_0 和 E , 根据多次试验, 选取 $E = 3.3$, $k_0 = 5.1$, 既能有效地增强目标的亮度, 又防止把背景当作目标加以增强, 星像与背景对比度明显增强, 效果较好。

具体步骤:

- 1) 对每帧进行中值滤波。
- 2) 对每五帧进行累加, 如 1、2、3、4、5 进行累加, 2、3、4、5、6 进行累加, 以此类推, 得到新的序列帧。
- 3) 对上述得到的新的序列帧, 选取 3×3 邻域进行局部增强, 同时完成星光目标的检测。

图 2 是在成像系统前加红外滤波片、未进行图像处理的序列中的任意一帧, 可以看到随机噪声较大, 如果直接对这样的图像进行大气参数的测量肯定不行。采用前面所说处理过程, 得到处理后的图像结果, 如图 4。随机噪声基本被消除, 目标与背景对比度明显加强。

为了对此方法进行验证, 我们还对其它时间段采集到的图像进行了验证, 图 5~图 7 给出在同一天的 7:30 左右的处理结果, 可以看出目标也被很好地提取出来。

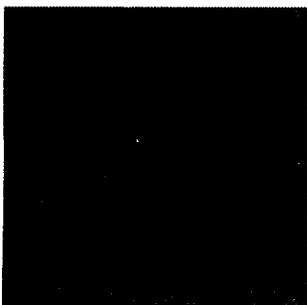


图 2 序列中的单帧图像

Fig.2 Single frame of video



图 3 5 帧累加后的图像

Fig.3 Image after 5 frames accumulated



图 4 消除背景并局部增强后的图像

Fig.4 Image after background eliminating and local enhancing

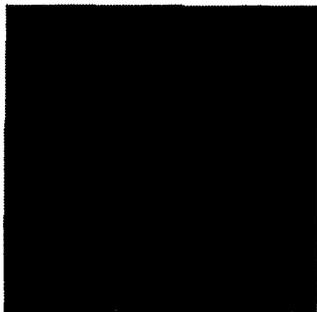
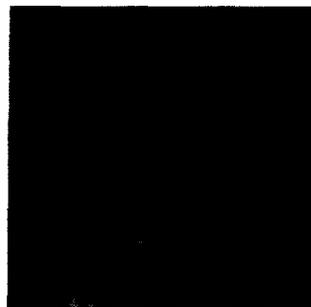


图 5 序列中的单帧图像

Fig.5 Single frame of video



图 6 5 帧累加后的图像

Fig.6 Image after 5 frames
accumulated图 7 消除背景并局部增强后的
图像Fig.7 Image after background
eliminating and local enhancing

5 结 论

通过实验发现, 本文的处理过程可以实现一定背景光下弱星光目标的检测, 在 7:30 左右之前的时间段可以很好地实现检测。随着太阳高度角的增大, 背景光继续增强, 信噪比严重下降, 累加帧数目加到 10 时, 尽管也可以实现星光目标的检测, 运算量增加同时影响了后续大气参数测量的精度。因此, 更强背景光下弱星光目标的检测还需进一步探索。

参考文献:

- [1] Gong Zhiben, Rao Ruizhong, Liu Xiaochun, et al. Measurement of atmospheric coherence length in daytime and at night [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, **16**(1): 1-3 (in Chinese).
龚知本, 饶瑞中, 刘晓春, 等. 大气相干长度的昼夜观测 [J]. *强激光与粒子束*, 2004, **16**(1): 1-3.
- [2] Sun Chunjuan, Xie Jianwei. Research on space filtering methods and properties for infrared image background drop [J]. *Journal of the Academy of*

Equipment Command & Technology, 2003, **14**(6): 79-83 (in Chinese).

孙春娟, 谢剑薇. 红外图像起伏背景对消的空间滤波方法研究 [J]. *装备指挥技术学院学报*, 2003, **14**(6): 79-83.

- [3] Han Kesong. The pretreatment for detecting infrared point targets under complex background [J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2000, **22**(1): 52-54 (in Chinese).

韩客松. 复杂背景下红外点目标检测的预处理 [J]. *系统工程与电子技术*, 2000, **22**(1): 52-54.

- [4] Xu Weian. Application of spectral filter device in measuring stellar daytime [J]. *Optics and Precision Engineering*, 1996, **4**(4): 84-88(in Chinese).

徐维安. 光谱滤波装置在白天测星中的应用 [J]. *光学精密工程*, 1996, **4**(4): 84-88.

- [5] Gonzalez R C. *Digital Image Processing* [M]. Trans. by Ruan Qiuqi. Beijing: Electronics Industry Press, 2004(in Chinese).

Gonzalez R C. 数字图像处理 [M]. 阮秋琦, 译. 北京: 电子工业出版社, 2004.

作者简介: 李青 (1978-), 女, 硕士, 毕业于中科院安徽光学精密机械研究所。