

基于图像累加的 SLR 目标识别技术的研究^{* 1}

王雅杰^{1,2)} 郭唐永^{1,2)} 邹彤^{1,2)} 王培源^{1,2)} 李世鹏^{1,2)}

林强^{1,2)} 朱程广^{1,2)} 刘延飞^{1,2)}

(1) 中国地震局地震研究所(地震大地测量重点实验室),武汉 430071
(2) 中国地震局地壳应力研究所武汉科技创新基地,武汉 430071

摘 要 针对卫星激光测距(SLR)观测系统中目标卫星识别困难的问题,提出一套利用图像累加、线性运算等方法对样本图像进行降噪处理的方案,并用 MATLAB 语言编程实现图像降噪的算法,最终得到被识别出的目标在微光电视 CCD 中的质心坐标值。结果表明:这套方案能有效识别 SLR 系统获取图像中的目标卫星。

关键词 SLR;图像累加;降噪;MATLAB;像增强器 CCD

中图分类号:P228.5

文献标识码:A

STUDY OF RECOGNITION TECHNIQUES OF SLR TARGET BASED ON IMAGE ACCUMULATION

Wang Yajie^{1,2)}, Guo Tangyong^{1,2)}, Zou Tong^{1,2)}, Wang Peiyuan^{1,2)}, Li Shipeng^{1,2)},

Lin Qiang^{1,2)}, Zhu Chengguang^{1,2)} and Liu Yanfei^{1,2)}

(1) Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071
(2) Wuhan Base of Institute of Crustal Dynamics, CEA, Wuhan 430071

Abstract Aiming at the problem on target satellite recognition in satellite laser ranging(SLR) observing system. A scheme which could reduce image noise is provided by image limited accumulation and linear operation. The scheme of reducing image noise is realized with MATLAB language programming. Finally, the barycentric coordinate of the target which is recognized in LLL(Low Light Level) TV CCD can be obtained. The result shows that this scheme is effective to recognize the target satellite in the image obtained from SLR observing system.

Key words:Satellite Laser Ranging(SLR); image accumulation; noise reduction; MATLAB; LLL TV CCD

1 引言

卫星激光测距可以精确测定卫星的轨道、全球激光测距站的地心坐标、站间基线长度以及地球定向参数等^[1]。图像增强器 CCD 属于 SLR 技术中望远镜的一个重要部件,其功能是监视所跟踪卫星的状态。SLR 技术最初为人工目测跟踪,现已发展到由计算机控制的自动跟踪,但系统工作环境及仪器

制造工艺使得望远镜存在指向性误差,因而在观测过程中还需要通过像增强器 CCD 的监控图像进行人工调整测距。由于夜间卫星星光信号及其微弱,微光电视获取跟踪图像信噪比低,目标卫星识别困难,若计算机能自动识别 CCD 图像中的目标,则可实现系统的智能化跟踪。

SLR 观测对象为体积小、距离远的人造卫星,在夜间观测时受大气条件和其他光源的影响,观测目

* 收稿日期:2012-10-23

作者简介:王雅杰,女,1988 年生,硕士,主要研究方向:地震观测技术. E-mail:jessiejkk@qq.com

标微小。经过图像增强器 CCD 高倍放大后,使得原本较小的目标淹没在与其同时被放大的噪声之中。

为解决低信噪比图像中目标极易被噪声所淹没的情况,本文提出利用图像累加、图像线性运算等方法抑制背景噪声,去除非目标图像,并运用 MATLAB 语言编程实现图像降噪算法,使计算机自动识别出被测目标图像。

2 图像采集及处理算法的选取与设计

图像处理实现 SLR 自动跟踪有三个步骤:1)连续采集 CCD 中的图像;2)处理图像得到目标坐标;3)计算机控制激光器跟踪目标。其中图像采集及处理主要分为 3 个过程:累加处理、线性变换和目标识别(图 1)。

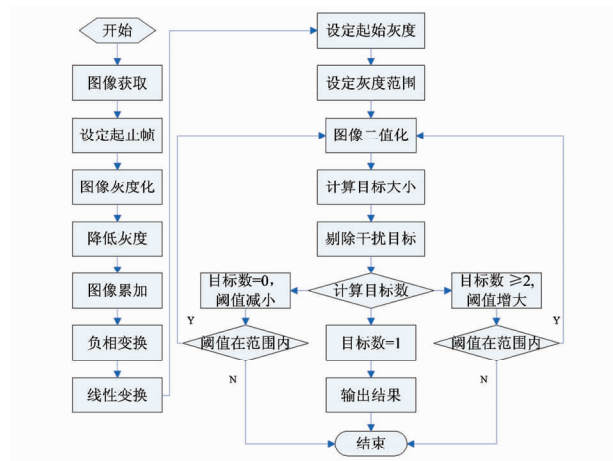


图 1 图像处理流程

Fig. 1 Flow chart of the image processing

2.1 图像累加处理

本研究所获得视频样本图像为 RGB 图像,需在累加图像前将其转换为灰度图像。为了节省存储空间,数字图像处理中提供了 uint8([0,255])的数据类型。为有效防止多帧图像直接累加容易出现数据溢出的问题,并在图像累加前将每帧图像灰度降低,使累加完成后得到的图像与原图像能量基本不变,同时在视觉上与原图像接近。采集前后图像对比如图 2 所示。

图 2 中(a)~(c)为视频第 50 至 150 帧中的任意 3 帧图像,(d)为第 50 帧至 150 帧逐帧累加所得结果。其结果表明图像噪声被抑制,目标较明显。

在图像累加中,对于采样时间长短、累加帧数的选择,通过试验确定。

实验 1:选取 50 帧连续的图像累加,结果:目标可辨;

实验 2:为减少运算量,选取 25 帧连续的图像累加,结果:目标可辨,但噪声较明显;

实验 3:为使目标更清晰,选取 100 帧连续的图

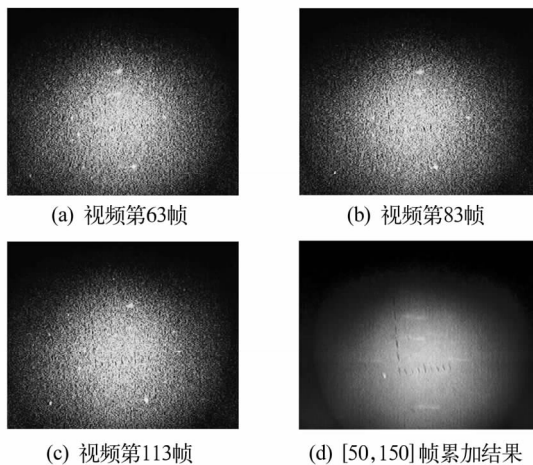


图 2 采集前后对比

Fig. 2 Comparison of pre and post acquisition

像累加,结果:随机噪声的能量也随帧数的增加而增加,采集时间较长,目标发生相对移动,能量分散;

实验 4:为抑制随机噪声的能量,选取 100 帧连续图像,每间隔 4 帧取 1 帧作为实验对象,实际将 20 帧图像进行累加,结果:目标处能量不够,并发生相对移动,能量分散;

实验 5:为抑制噪声并增加能量,选取 100 帧连续图像,每间隔 1 帧取 1 帧作为实验对象,实际将 50 帧图像进行累加,结果:采集时间较长,目标发生相对移动,能量分散;

以上 5 次实验结果如图 3 所示。通过实验对比,选择 50 帧连续图像进行累加后获得最佳累加效果如图 3(a)。

图像能量积累是提高图像信噪比最直接的方法,适用于目标相对静止或运动较慢的情形。SLR 在观测过程中,系统根据目标的星历预报结果控制望远镜实时跟踪,因此,在 CCD 上的目标影像是处于相对静止或是缓慢运动状态(由星历误差或系统跟踪误差引入的相对运动),而非目标影像都处于快速移动状态。

在微光条件下,噪声干扰大,利用各帧信号的相关性、噪声和非目标的不相关性,可以通过图像累加提高图像的信噪比。正常摄取某帧图像的信噪比为:

$$\frac{S_1}{N_1} = \left(\int_0^{t_1} \sqrt{s(t)} dt \right)^2 / \int_0^{t_1} n(t) dt \quad (1)$$

式中, $n(t)$ 为噪声功率谱, $s(t)$ 为信号功率谱, t_1 为一帧图像显示时间,则经过 k 帧图像的累积后目标信噪比为:

$$\frac{S_k}{N_k} = \left(\int_0^{kt_1} \sqrt{s(t)} dt \right)^2 / \int_0^{kt_1} n(t) dt = \left(k \int_0^{t_1} \sqrt{s(t)} dt \right)^2 / \left(k \int_0^{t_1} n(t) dt \right) = k \frac{S_1}{N_1} \quad (2)$$

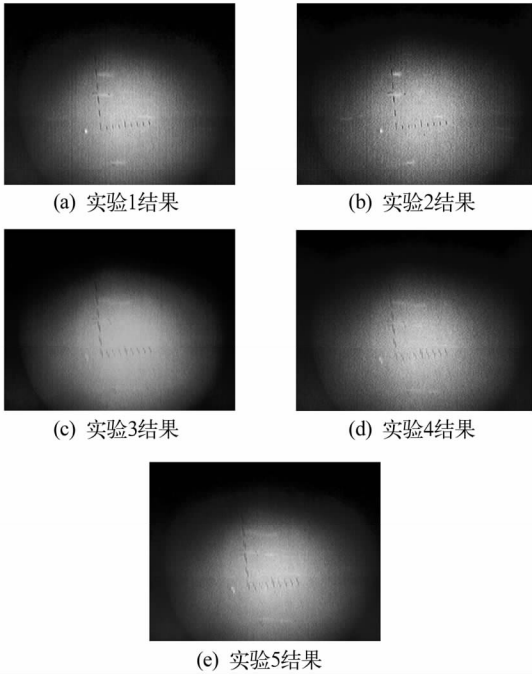


图3 不同采集方式所得结果

Fig. 3 Acquisition results in different modes

因已假设观察目标是静止或缓慢运动状态,故由式(1)、(2)可知 k 帧图像累加平均后目标信噪比提高了 k 倍^[3]。

从能量累积上看,设 $f_0(x_0, y_0, n)$ 为获取的序列图像第 n 帧灰度图像中目标 (x_0, y_0) 处的灰度值,经过 m 帧累加后,该处的新灰度值 $f(x_0, y_0)$ 为:

$$f(x_0, y_0) = \sum_{n=1}^m \frac{1}{m} f_0(x_0, y_0, n) \tag{3}$$

而在能量累积时非目标运动速度快,即能量分散。假设某非目标处 (x_1, y_1) 经过 m 帧累加,因衰减速率大实际在 p 帧 ($p \ll m$) 能量接近 0,则可认为该处新灰度 $f(x_1, y_1)$ 为:

$$f(x_1, y_1) = \sum_{n=1}^{p-1} \frac{1}{m} f_0(x_1, y_1, n) + \sum_{n=p}^m \frac{1}{m} \times 0 \tag{4}$$

在开始采集图像前要设置采集的起止帧图像,并为累加创建空白矩阵,采集完成后对图像进行灰度化,再对图像逐一降低能量后进行累加,使之得到的与原始视频能量相等或相近的图像。在 Matlab 中可以用如下语句实现视频的采集和处理:

```
vidframes = read( mov, [ 起始帧, 截止帧] ); %  
读取一段视频,设置起止帧  
.....  
for k = 1:rlen  
.....  
video_gray( :, :, k) = rgb2gray( video( k). cdata  
( :, :, : )); % 将每帧图像灰度化  
a1 = video_gray( :, :, k). /ave; % 调整灰度,降
```

低单帧图像能量

.....

End

2.2 目标识别处理

经过图像能量累积处理,目标信噪比得到提高,非目标信噪比得到抑制,但噪声干扰仍然存在,为使目标更明显,还要对图像进行负相变换后再相减。负相变换是线性变换的一种,又称反相变换^[4],即对每一个像素值求反,将灰度图像中的最大值 255 减去图像中每一点的灰度值,其算法为:

$$g(x, y) = 255 - f(x, y) \tag{5}$$

$$\Delta f(x, y) = f(x, y) - g(x, y) \tag{6}$$

此时目标处灰度 $\Delta f(x, y)$ 为最大值。

在 MATLAB 中用一个全 255 矩阵减去累加后的图像来实现负相变换;经过负相变换后,将原图像与变换后图像相减,得到目标更清晰的图像;通过阈值分割搜索目标,由于目标处灰度较大,初始阈值取图像直方图中最大值灰度值的 0.9 倍,这样能减少运算量;对二值化后的图像分析,先要设定目标大小的合理范围,再采用 4 邻域连通性逐一计算各个目标区域中像素的总数,剔除不在范围内的目标;若剩下的目标过多,则提高阈值,若目标为 0,则降低阈值,以此类推,找到符合要求的目标;最终返回目标在图像上的目标区域的质心位置坐标值。

图中阈值的调整幅度可根据情况进行相应的改变,考虑到计算量及运算时间,选择阈值每次增加 0.002 5,阈值每次减小 0.005 0,如果目标不明显,除了改变累加帧数外,还可通过修改阈值升降幅值来检测目标,阈值升降幅值越小,系统灵敏度越高,计算量越大;反之,阈值升降幅值越大,运算越快,但灵敏度越低。

3 实验结果及分析

在对卫星观测时,由于设备限制没有对 CCD 进行直接采集,而是使用便携式 CCD 设备对像增强器上图像进行二次采集,卫星为 GLONASS125,采样频率为 25 帧/秒,一共采集了 399 帧,采集到的图像尺寸为 404 × 528,图像类型为 'truecolor',通过 Matlab 累加处理后得到一帧目标较清晰的样本图像,其尺寸为 404 × 528,其类型为 8 位灰度图像,对样本图像进行分步处理结果如图 4 所示。

图 4(a) 为原图, (b) 经过负相变换后,目标处的灰度为最小值,将原图减去负相变换后,经计算, (c) 中目标灰度取整后为 183,经过二值化处理后得到目标中心位置的坐标如 (d) 所示,目标在图像中的中心位置坐标 [181, 275]。

(下转第 77 页)