

人造卫星观测中重叠像的分离^{*}

平一鼎[†]

(中国科学院紫金山天文台 南京 210008)

摘要 在人造卫星观测中,由于观测目标相对背景恒星的运动,观测目标成点状像而背景恒星的像则被拉长.该现象极易造成观测目标与背景恒星发生重叠,从而给卫星跟踪观测或是进行同步目标探测造成困难.本文利用图像处理的方法对重叠的目标像和恒星像进行分离,取得了较为理想的效果.

关键词 航天器, 技术: 图像处理

中图分类号: P 128; **文献标识码**: A

1 引言

传统的天文观测在方法上较为单一,往往只需要在望远镜跟踪固定天区的情况下进行露光拍摄即可.人造卫星观测则与之有很大的差异,在卫星跟踪观测中,望远镜需要以较快的速度跟踪卫星,由于观测目标相对背景的运动,此时卫星在图像中成为点状像而背景恒星则被拉长.在同步轨道目标探测中也存在同样的问题.为了观测到较暗弱的同步轨道目标,望远镜在露光时需要相对地球静止^[1],从而得到与卫星跟踪观测类似的图像.相对于卫星跟踪观测而言,由于同步轨道目标探测需要更长的露光时间,因此背景恒星拉长的程度更为显著.

鉴于观测方法的这种特点,在图像中观测目标极易与背景恒星靠得过近甚至出现重叠的现象(见图 1).对卫星跟踪观测来说,这种情况意味着发生重叠的该帧图像的结果精度不可靠.更坏的情况则是跟踪系统可能受背景恒星较强信号的干扰而出现判断错误,转而跟踪恒星,导致观测失败.对同步轨道目标探测来说,由于背景恒星拉得更长,目标与背景恒星更易发生重叠现象.在这种情况下,如果不做特殊的处理就无法识别出存在的目标,从而导致探测能力的下降.

要解决以上问题,就必须使目标与背景恒星分离开.本文利用这两种像在图像形态上的差异,提出了一种基于高斯函数卷积性质的图像处理方法,可对空间目标观测中出现的目标与背景恒星重叠现象进行有效的分离.

* 2007-06-08 收到原稿,2007-06-19 收到修改稿

[†] ydping@pmo.ac.cn

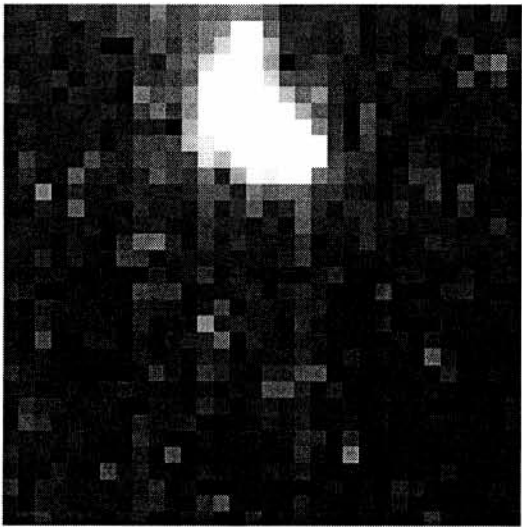


图 1 重叠的观测目标和背景恒星

Fig. 1 Blending of observed object with background star

2 高斯函数的卷积性质

在人造卫星观测中目标的像与背景恒星的像差异明显,人造卫星目标呈现为点状像,可表示二维高斯函数的形式,而恒星的像则为长条状.对高斯函数来说,有一个重要的性质可加以利用:两个高斯函数的卷积产生另一个高斯函数^[2].如两个高斯函数分别为 $Ae^{-(x-a)^2/2\sigma_1^2}$ 、 $Be^{-(x-b)^2/2\sigma_2^2}$,其中 A 、 B 为峰值幅度, a 、 b 为函数相对原点的偏移量, σ_1 、 σ_2 为高斯函数标准差,则有:

$$Ae^{-(x-a)^2/2\sigma_1^2} * Be^{-(x-b)^2/2\sigma_2^2} = AB e^{-(x-c)^2/2\sigma_3^2} . \tag{1}$$

式中 $*$ 为卷积符号,其中:

$$c = a + b , \tag{2}$$

$$\sigma_3^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 . \tag{3}$$

因此,卷积后得到的高斯函数变宽,其宽度为两个高斯函数宽度平方之和的平方根,相对于原点偏移是两原函数偏移量之和,峰值的幅度是两原高斯函数幅度之积.因此,通过这种计算,能够有效地放大高斯函数信号.

对人造卫星观测来说,可定义一个理想二维高斯分布与存在重叠现象的图像做卷积,从而增强观测目标的信号.同时由于背景恒星的像与二维高斯分布差异非常大,不会得到增强,反而会被作为不需要的系统影响被卷积抑制掉.此外,在卷积后,目标的位置会发生平移,偏移量服从 2 式,这也使得目标与背景恒星的位置坐标之差增大,起到了分离重叠像的目的.

3 重叠像的分离计算

3.1 基本计算过程

如发生重叠现象的原图像中,目标的强度分布为:

$$f(x_i, y_j) = A \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x_i - x_{c1}}{r_1} \right)^2 + \left(\frac{y_i - y_{c1}}{r_1} \right)^2 \right] \right\}, \quad (4)$$

设理想高斯分布函数为:

$$g(x_i, y_j) = B \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x_i - x_{c2}}{r_2} \right)^2 + \left(\frac{y_i - y_{c2}}{r_2} \right)^2 \right] \right\}. \quad (5)$$

这两个二维高斯函数的卷积将得到另一个二维高斯函数:

$$f(x_i, y_j) * g(x_i, y_j) = AB \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{x_i - x_c}{R} \right)^2 + \left(\frac{y_i - y_c}{R} \right)^2 \right] \right\}. \quad (6)$$

其中:

$$\begin{aligned} x_c &= x_{c1} + x_{c2}, \\ y_c &= y_{c1} + y_{c2}, \\ R_c &= r_1^2 + r_2^2. \end{aligned} \quad (7)$$

由于在时域中进行两幅图像的卷积需要做非常复杂却并不很重要的边角处理,在程序编写时烦琐而没有必要.这里可利用卷积定理的性质:两个函数在一个域中的卷积相当于在另一个域中的乘积^[3].卷积定理指出了一个好处,与其在一个域中作不直观的且不易处理的卷积,往往不如在另一个域中作乘积,在达到相同的效果的同时,处理过程得到了简化,计算速度也得到了提高.因此,首先对 5 式和 6 式作二维快速傅立叶变换(FFT)得到:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi x u} e^{-j2\pi y v}, \quad (8)$$

$$G(u, v) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} g(x, y) e^{-j2\pi x u} e^{-j2\pi y v}. \quad (9)$$

$F(u, v)$ 和 $G(u, v)$ 分别为 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 在频域内的分布,两式乘积可得:

$$\Phi(u, v) = F(u, v) \cdot G(u, v), \quad (10)$$

式中的函数乘法运算为点乘.对 $\Phi(u, v)$ 作傅立叶逆变换,即可完成在时域中的二维高斯函数卷积计算:

$$\phi(x, y) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} \Phi(u, v) e^{j2\pi x u} e^{j2\pi y v}. \quad (11)$$

利用以上处理过程,即可对人造卫星观测过程中出现的像重叠图像进行处理.

3.2 卫星跟踪图像的计算

图 2 为对卫星跟踪观测过程中的重叠星像进行处理的结果,图中 a、b、c、d 分别为原图、原图的三维强度分布、原图的二维强度分布和处理结果的二维强度分布.原图中卫星的像与恒星混合在一起,如果直接用矩方法等定位方法将得到错误的目标位置,从而影响观测精度,同时还带来跟踪失败的危险.从图 2d 中可见,相对于原图,目标与背景恒星已经被有效分离.在这种情况下,无论利用哪种目标识别方法,都可以识别为两个像,通

过计算能够得到目标的准确位置,从而避免望远镜跟踪失败的问题,并且所得到的结果精度要比未处理时高得多.

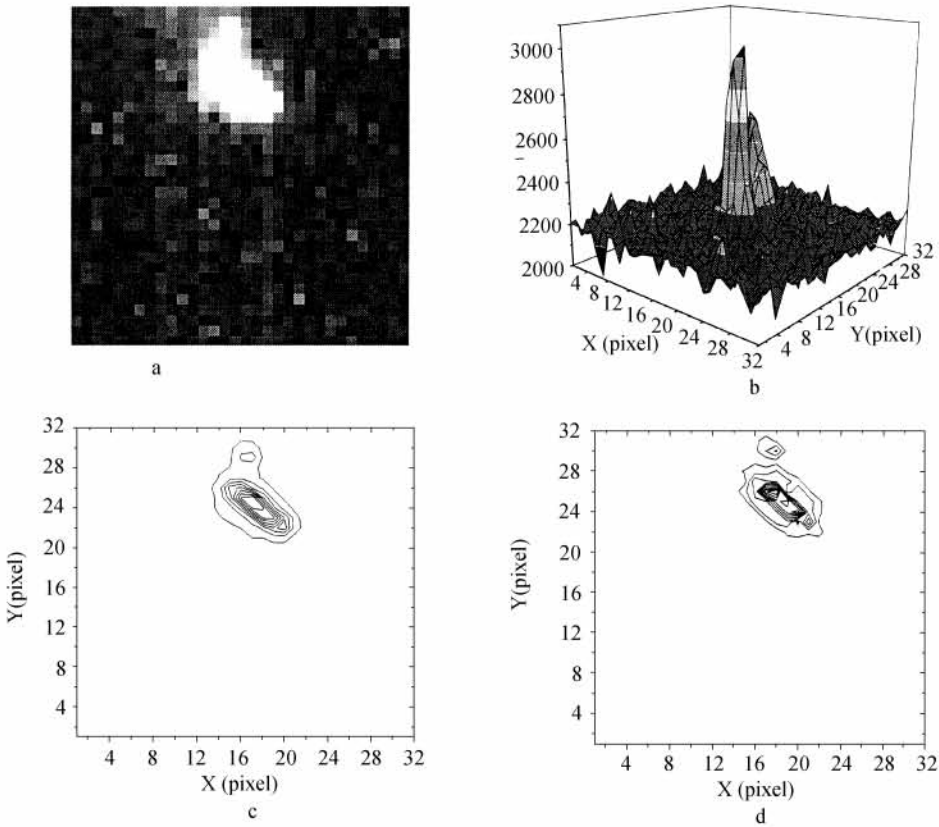


图 2 对卫星跟踪观测中的重叠像进行分离
Fig. 2 Separating the blended images in satellite observation

3.3 空间碎片探测图像的计算

图 3 为对同步轨道空间碎片探测中出现的重叠图像进行处理的过程. 图 3a 为原观测图像,其中只能辨认出背景恒星. 通过考察该图像的三维强度分布(图 3b)和二维强度分布(图 3c),可以清楚地观察到有一个目标重叠在背景恒星上. 若不做任何图像的处理,在该图像中将无法识别出目标,定位精度更无从谈起.

图 3d 为处理后图像的二维强度分布. 从图中可见,在图像中原有的背景恒星几乎已经无法被识别出来,而目标则被放大. 这是因为,如 6 式所表现出的,用一个高斯函数对另一个高斯函数作卷积可以起到放大的作用,而同时卷积的一个重要作用则是去除不需要的噪声影响^[2],因而对非高斯函数分布的影响间接起到了抑制和平滑作用. 通过卷积处理,对图 3d 作目标识别和计算时,由于背景恒星已经几乎完全被有效抑制掉,因此对计算没有什么影响,从而可以提高目标的识别率和计算的精度.

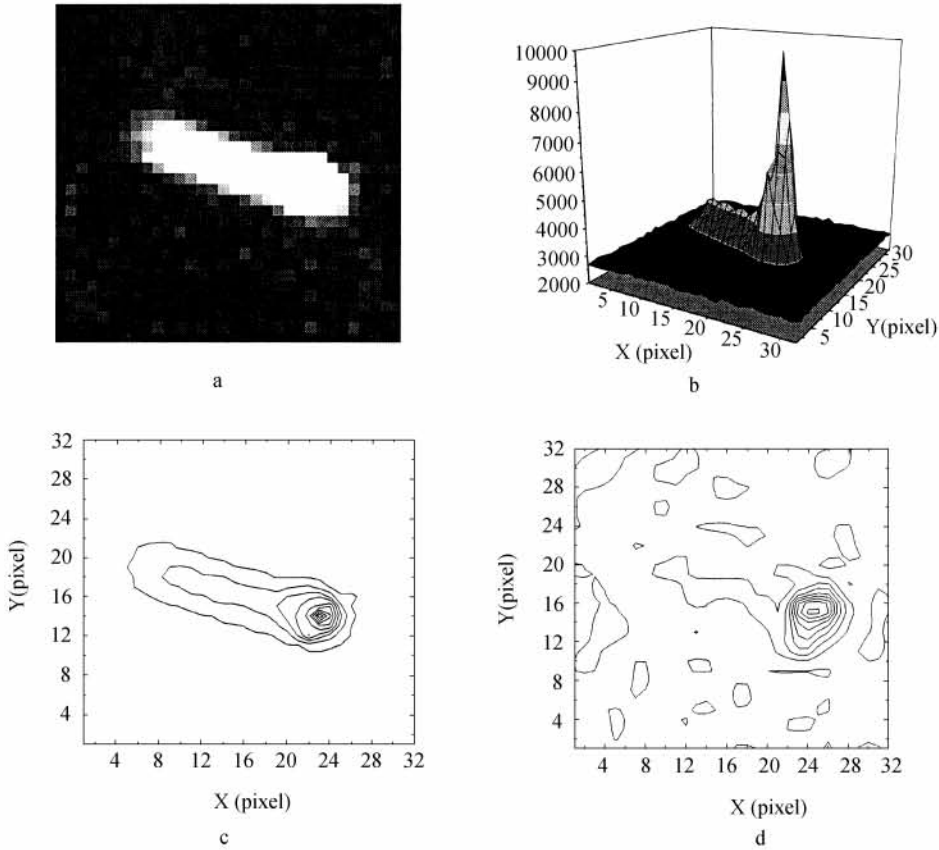


图 3 对同步轨道空间碎片探测中出现的重叠像进行分离
Fig. 3 Separating the blended images in GEO space debris detection

3.4 计算前后目标的位置关系

通过比较处理前后图像的差别,可以观察到处理后的图像中目标像的中心位置与处理前有一定的偏移.如 7 式所示,在用高斯函数卷积图像后,目标的中心坐标随之移动,移动量服从 7 式,因此可利用此关系来对偏移量进行修正.令原目标的中心位置为 x_0 、 y_0 ,而用来卷积的高斯函数的中心位置已知,为 x_g 、 y_g ,处理后的目标位置 x 、 y 可在处理后图像中用常规定位方法得到,则可通过简单的位置平移关系:

$$\begin{aligned} x_0 &= x - x_g \\ y_0 &= y - y_g \end{aligned} \tag{12}$$

计算得到原图像的中心坐标,从而最后的定位精度并不会受到太大的影响.

4 结论

通过用二维高斯函数对原图像进行卷积,可以使原本难以分离的背景恒星的像和目标的像独立开,从而比较好地解决了背景恒星干扰的问题,使得卫星在跟踪观测过程中

避免跟踪失败的情况,并且定位精度也得到较大的提高。

该方法应用在同步轨道探测时,能够识别出原本无法识别的同步轨道目标. 对于探测工作来讲,识别率的提高意味着工作效率得到大幅度的提高,从而更好地利用有限的观测时间。

图像处理方法的特点是,针对一种特定的情况往往有更优的方法进行处理,不存在一种方法能够处理所有的问题. 本文提出方法基于空间目标与背景恒星不同的图像形态,因此对于天体测量中的星像问题并不适用。

本文的方法计算过程并不复杂,实现简单,已作为处理程序的一部分集成在同步轨道空间碎片探测软件中而得到了应用^[4],在实测中取得了很好的效果。

参 考 文 献

- 1 Schildknecht. T. ; et al; "Optical observation of space debris in the geostationary ring", ESA SP-473, Vol. 1, p. 89-93, 2001
- 2 Kenneth. R. Castleman, Digital Image Processing, Prentice Hall, 1996
- 3 何斌等, Visual C++ 数字图像处理, 人民邮电出版社, 2002
- 4 平一鼎, 博士学位论文, 2007

Separating the Blended Images in Space Object Observation

PING Yi-ding

(Purple Mountain Observatory, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008)

ABSTRACT Because of the relative movement between space objects and background stars, the images of space objects are shown as points and those of the background stars are elongated at the same time in the observation of space objects. The blending of objects with stars is ineluctable thereby. This influence brings difficulties to the data reduction of tracking observation of satellite and the detection of GEO space debris. In this paper, a technique based on the convolution of gauss functions is applied to remove this blending. Results of the reduction of real data show that the technique is effective.

Key words Space vehicles, Techniques; image processing