

基于多幅图像的有效点扩散函数的高精度测量

王婷婷, 苏成悦, 王 娴, 周 镇

(广东工业大学 物理与光电工程学院, 广东 广州 510006)

摘要: 将图像融合以及高精度测量方法应用于天文图像处理, 对图片进行处理得到有效点扩散函数, 并将有效点扩散函数拟合星像, 得到星体的位置与光度信息. 结果表明, x 方向平均定位精度为 0.036 pixel, y 方向平均定位精度为 0.044 pixel, 平均测光精度达到 0.032 magnitude, 测量结果验证了该算法的有效性.

关键词: 图像融合; 有效点扩散函数; 高精度测量

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2010)03-0051-05

高精度测量指运用当代测量技术对各类物理量进行测量, 并运用数据处理技术, 获得更高的精度. 高精度测量有着广泛的应用, 可以用于卫星导航, 对目标进行定位; 用于机器人视觉, 使机器人完成精细的任务. 目前计算机以及图像处理技术已广泛应用于高精度测量领域, 随着科学和工业技术的发展, 改进图像处理的方法以提高其精度变得越来越重要. 在星图测量中, 图像的定心是高精度测量的首要问题, 现在发展了许多经典的数值定心算法. 如高斯拟合法^[1]、修正矩方法^[2]、中值法^[3]和寻导法^[4]等, 在此基础上, 许多研究者先后提出了一些经过改进的算法, 有可调阈值的修正矩方法^[5], 递推的高斯曲面拟合技术^[6]等. 这些算法都在不同程度上提高了测量精度. 郭进将亚像素定位算法用于双目视觉检测系统中, 测量精度达到了 0.1 pixel^[7]; 雷鸣基于互相关的图像匹配亚像素定位, 在生成一个理想的图像对象的情况下, 定位精度可达到 0.01 pixel^[8]; 杨旭海提出的逐次逼近法^[9], 用来对星像定心, 提高了定心速度; 这些应用的测量精度一般达到了亚像素级. Anderson 和 King 在 2000 年提出了一种有效点扩散函数的处理方法^[10], 该方法通过统计获得星体的灰度分布矩阵, 求得星体的轮廓, 提高了计算精度, 并将其应用于地面测量^[11].

本文主要是将 Anderson 和 King 的方法运用于天文学领域的高精度测量, 通过对星像位置的拟合, 得到一个有效点扩散函数, 并测量出星体的中心和光度. 在之前的工作中, 已经分别求得了单幅图的有效点扩散函数. 本文在此基础上, 选择将多幅图像融

合成一幅, 并对其进行处理, 得到最终的有效点扩散函数. 该有效点扩散函数反映了星体的真实轮廓.

1 图像融合

1.1 生成单一图像

图片融合就是提取和合成多源图像信息, 获得对同一场景目标更为准确的图像描述^[12]. 本文以 16 幅实时拍摄的 CCD 天文图像为研究对象. 将这些图像进行融合, 得到一幅信噪比较高的图像. 使用的 16 幅天文图像都是 FITS 格式^[13], 这种格式现已成为国际天文界比较通用的数字图像交换工具, 该格式可以转化为二维矩阵进行处理.

本文采用像素级融合中最基本的平均法对 16 幅天文图像进行处理. 像素级融合作为各级图像融合的基础, 能较多地保留场景的原始信息. 将图像转化为二维矩阵后, 再使用平均法将原图像对应像素的灰度值进行求和平均, 生成新的图像. 得到平均后的融合图像后, 再进行定心与测光计算.

1.2 星像的提取

对不同的图像, 由于信噪比不同, 选取合适的阈值就能提取较高质量的星像, 并进行二值化. 阈值的选取十分重要, 太小则背景去除不够, 达不到分离信号的效果, 太大则有丢失暗弱星体的可能. 可根据测量需要设定合适的阈值, 获得不同星等的星.

在二值化过程中, 先求得灰度值比率最大的灰度级 L , 一般选取大于灰度级 L 的值作为二值化的阈值 T ^[14], 设包含星体目标的图像表示为 $f(x, y)$, 其中, 像素坐标为 $x = 1, 2, \dots, m; y = 1, 2, \dots, n$, 用

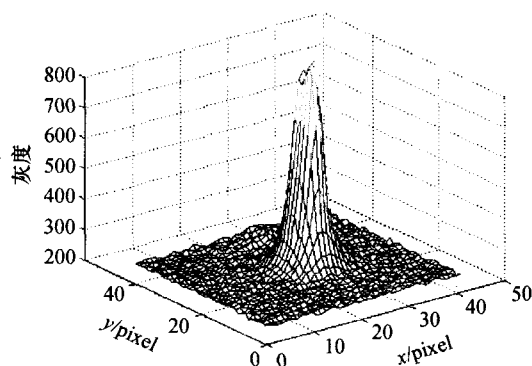
如下过程进行分割:

$$F(x, y) = \begin{cases} f(x, y) & f(x, y) > T, \\ 0 & f(x, y) \leq T. \end{cases} \quad (1)$$

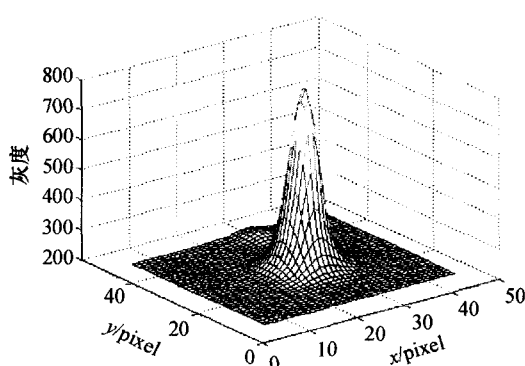
根据形态学理论, 阈值分割后, 在处理星图时, 一般考虑去除十个像素的边界星, 排除拍摄到的边界不完整星的干扰. 然后用适当的结构元素对二值图像进行开操作, 滤除噪声; 按形态学理论, 划分各个星点的范围就是要在图中寻找连通的区域, 通常对圆形区域采用4连通区域标记, 一个连通区域分别标记为1, 2, ..., n. 不同区域有了不同编号之后, 就可逐个提取计算.

由于星像要受到大气湍流的影响^[9], 另外, 在采

集图像过程中由于受到宇宙射线的干扰, 使得图像中形成随机噪声, 将几秒钟内采集到的同一天区的多幅图像进行求和平均, 能够消除由于湍流而引起的星像扩散的不均匀, 消除随机噪声. 恒星离地球很远可看成是一个点光源, 望远镜随动装置能保证被测星位置精度要求. 图1是本文标记为26的星的轮廓示意图, 在没有经过图像融合前(图1(a)), 星体的周围有很多噪声点, 得到的波形图波峰较为陡峭, 而且波形周围起伏不平; 经过融合后的图像(图1(b)), 星体周围的噪声点基本消失, 图像的信噪比有了明显的提高, 所得到的波形图较为平滑和对称.



(a) 图像融合前



(b) 图像融合后

图1 星像波形图

2 求有效点扩散函数

2.1 天光背景

Stetson 指出, 天光背景是陆地夜空散射、CCD 接收器内部的散射光线等多种因素的结合体, 要确定星像的天光背景值 B , 通常的做法是在以星像为中心的一个环形区域内找到一个 CCD 计数值来表示该星像的 B 值^[15].

要得到 B 值, 首先找到每颗星的初始坐标, 然后利用高斯拟合得到初始的星像亮度 H , 按照文献^[15]的做法, 利用公式(2)中星像亮度 H 与内环半径 N 的关系得到内环半径^[16].

$$N = \begin{cases} 1.5 & 0 \leq H < 100, \\ 2.5 & 100 \leq H < 300, \\ 3 & 300 \leq H < 700, \\ 3.5 & 700 \leq H < 1\,000, \\ 4 & 1\,000 \leq H < 1\,600, \\ 5 & H \geq 1\,600. \end{cases} \quad (2)$$

本算法将环宽取5个像素即得到外半径, 将内环的灰度值都取为0后, 得到环形区域; 如图2所

示, 利用得到的环形区域求天光背景值 B ^[15].

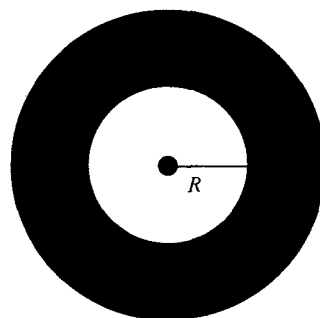


图2 星像求取背景区域

2.2 高斯拟合得到初始中心通量

恒星是一种点光源, 点光源经过理想光学系统成像为一个弥散斑, 它的分布函数称为点扩散函数. 当点光源位于光轴轴线上时, 像的表达式为

$$h_p(x, y) = \frac{1}{\pi D_z} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{D_z}\right). \quad (3)$$

其中, D_z 为图像扩散系数. 由点扩散函数的表达式可看出, 其分布是一个二维的高斯分布, 如图3所示. 本文利用高斯拟合的方法^[14]得出每颗星的初始

中心和通量信息,再通过有效点扩散函数的方法计算出星体的中心位置。

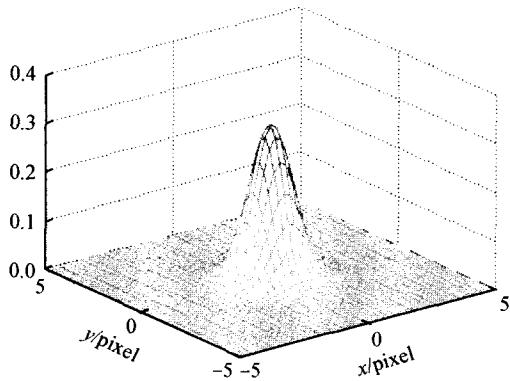


图3 高斯分布图

2.3 求点扩散函数

利用式(4)求得有效点扩散函数

$$\Psi_{E_{ij}} = \frac{(p_{ij} - s_*)}{f_*}, \quad (4)$$

其中, p_{ij} 为星像在 (i, j) 位置处的灰度值, s_* 是天光背景, f_* 表示通量, 即星体的光度值. $\Psi_E(i - x_*, j - y_*)$ 为中心在 (x_*, y_*) 的有效点扩散函数, 可简写为 $\Psi_{E_{ij}}$.

通过样条插值插入采样点, 去除大于 2.5 倍残差的采样点, 经过滤波平滑、抛物面拟合、迭代等过程, 最终得到有效点扩散函数, 它的分布如图 4 所示. 由图 4 可看出, 有效点扩散函数的轮廓更加平滑, 这是最终得到的星体的真实轮廓. 理想情况下光学系统的点扩散函数服从高斯分布, 但是实际上由于受到大气抖动等多方面的影响, 致使星像分布并不完全服从高斯分布. 有效点扩散函数也并不是用函数表达式去拟合星像, 它是一个反映星像实际灰度分布的数值矩阵, 因此可较好地拟合星像灰度分布.

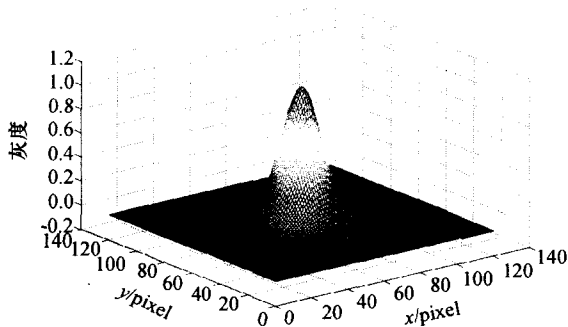


图4 有效点扩散函数分布图

2.4 用点扩散函数拟合星像

得到有效点扩散函数后, 用它来拟合星像, 可得

到星体的中心位置与光度信息. 本文对标记星进行了测量, 通过迭代找到合适的参数 (x_*, y_*, f_*) 使式(5)的值最小, 其中 AP 为拟合的像素范围. 式中每颗恒星流量 f_* 的解析式为式(6), 而 x_*, y_* 可通过牛顿迭代法式(7)获得.

$$\chi^2 = \sum_{(i,j) \in AP} \frac{[(p_{ij} - S_*) - f_* \Psi_{E_{ij}}]^2}{p_{ij}}, \quad (5)$$

$$f_* = \sum_{(i,j) \in AP} \frac{(p_{ij} - S_*) \Psi_{E_{ij}} / p_{ij}}{\Psi_{E_{ij}}^2 / p_{ij}}, \quad (6)$$

$$x_*^{n+1} = x_*^n + \delta x_*^n, y_*^{n+1} = y_*^n + \delta y_*^n. \quad (7)$$

3 实验验证

本文采用 Matlab 进行编程实现算法, 文中的实验样本采用 2007 年 10 月 12 日在国家天文台兴隆观测站使用地平式 1 m 反射望远镜观测的 16 幅 CCD 图像资料. 这些星体图像是编号为 M35 (NGC2168) 位于双子座的疏散星团. 疏散星团形状不规则, 结构松散, 但有共同的运动特性. 天文望远镜和接收器的参数说明: 焦距 8.00 m, 焦比 $f/8$, 主镜口径 1.00 m, CCD 视场 $11.8' \times 11.5'$, CCD 阵列大小 1 340 pixel $\times$ 1 300 pixel, 近似比例尺 $0.53''/\text{pixel}$.

叠加后的星图经过标记后, 如图 5 所示, 星像旁边的数字标记为星的编号, 图中右下角为一颗饱和星, 因此不予标记和考虑. 为显示方便, 示意图为原始图像的负值图像.

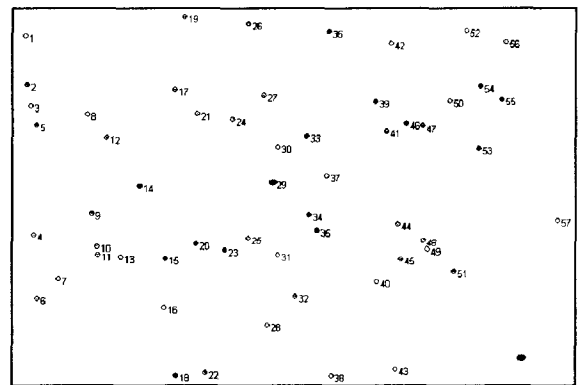


图5 检测结果示意图

由于望远镜消旋系统的不完善使得由 CCD 系统观测的图像会存在一定的系统偏差. 要反映目标星像所发生的平移、缩放、二维旋转和错切等运动变化, 这里采用六参数的仿射变换模型^[17]得到中心位置的标准偏差. 图 6 所示为检测结果中心位置的标准偏差.

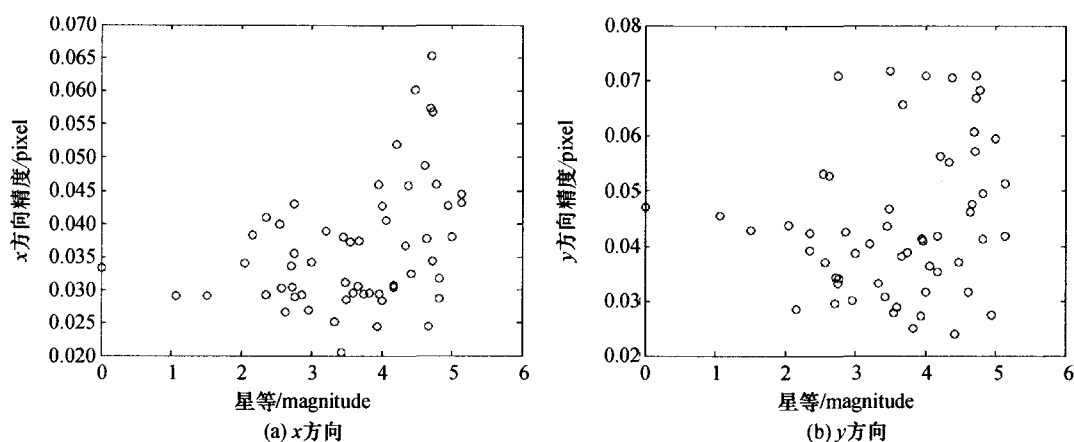


图6 星像位置的标准偏差

本文采用相对测光,综合考虑选取标记为29的星作为比较星 f_m .星像的亮度通常用星等(m)来表示:

$$m = -2.5 \lg \frac{f_*}{f_m} \quad (8)$$

假设第 i 幅图像中第 j 颗星的星等为 m_{ij} ,然后在多幅图像中统计它们的平均值 $\bar{m}_j$ 及标准差 σ_j ,用 σ_j 来衡量测量的内部精度.测量精度如图7所示.

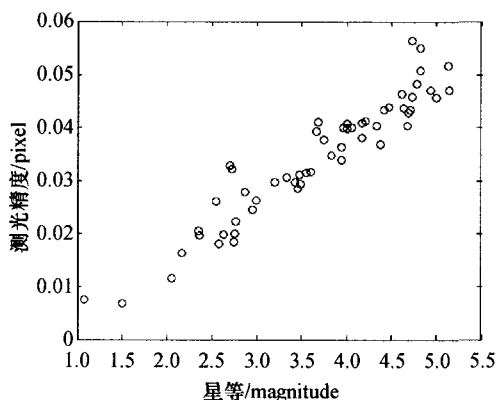


图7 星像星等与测光精度的关系

4 讨论

本文的研究,说明了利用图像融合得到星图再求有效点扩散函数的方法是可行的,它可以得出一个最终的有效点扩散函数,获得星体的真实轮廓,有效避免了随机噪声的干扰.从中心位置的标准偏差图(图6)可看出, x 方向平均定位精度为0.036 pixel, y 方向平均定位精度为0.044 pixel. x 方向的定位精度略优于 y 方向,二方向的精度不存在相关性,并且平均定位精度小于0.05 pixel,与传统的高斯定位

方法相当^[14].从亮星与暗星的定位精度上看,有效点扩散函数对亮星的定位精度并不优于暗星.由星像测光精度图(图7)可以看出,平均测光量精度达到0.032 magnitude,亮星的内部测量精度能达到0.0068 magnitude,而暗星则可达到0.0565 magnitude.星等值越大星越暗,亮星的测光精度高于暗星,并且星等与测光精度有很好的线性关系.大多数天文定位方法的平均外部精度大约为0.1 pixel^[17],图像匹配中的亚像素定位法在理想图像的情况下测量精度也仅达到0.01 pixel^[8],本文的方法对实际图像的测量精度平均可达0.04 pixel,因此有效点扩散函数是值得进一步探讨和应用的一种方法.

致谢:本文的工作得到了彭青玉教授提供的图像资料并与他进行了重要的讨论,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] Auer L H, van Altena W F. Digital image centering (II) [J]. AJ, 1978, 83 (5): 531-537.
- [2] Stone R C. A comparison of digital centering algorithms [J]. AJ, 1989, 97 (4): 1227-1237.
- [3] Chui L-T G. Astrometric techniques with a PDS microdensitometer [J]. AJ, 1977, 82 (10): 842-848.
- [4] Stetson P B. Photographic stellar photometry with the PDS microdensitometer [J]. AJ, 1979, 84 (7): 1056-1066.
- [5] Peng Q Y, Vienne A. New evidence of precision premium for Galilean satellites from CCD imaging [J]. P&SS, 2008, 56 (14): 1807-1811.
- [6] 李季,唐建博.天文导航中星体高精度细分定位方法研究[J].光学与光电技术, 2007, 5 (2): 75-77.
- [7] 郭进,刘先勇.机器视觉标定中的亚像素中心定位算法

- [J]. 传感器与微系统,2008,27(2): 106-108.
- [8] 雷鸣,张广军. 基于互相关的图像匹配亚像素定位[J]. 光电工程,2008,35(5): 108-113.
- [9] 杨旭海,马红皎,胡永辉. 天文 CCD 观测的星像定心算法[J]. 陕西天文台台刊,2001,23(2): 143-149.
- [10] Anderson J, King I R. Toward high-precision astrometry with WFPC2. I. Deriving an accurate point-spread function [J]. PASP,2000,112(776): 1360-1382.
- [11] Anderson J, Bedin L R. Ground-based CCD astrometry with wide field imagers-I. Observations just a few years apart allow decontamination of field objects from members in two globular clusters [J]. A & A,2006,454(3): 1029-1045.
- [12] 刘卫光. 图像信息融合与识别[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [13] 吴细平. 土星暗卫星位置的高精度测量研究[D]. 暨南大学. 信息科学技术学院,2008.
- [14] 王嫻,苏成悦,王婷婷,等. 一种新的星像自动搜索算法[J]. 广东工业大学学报,2009,26(3): 77-81.
- [15] Da Costa G S. Basic Photometry Techniques [J]. ASPC, 1992,23: 90-104.
- [16] 淦玲玲. 基于 CCD 图像的几种定心算法的比较[D]. 暨南大学. 信息科学技术学院,2008.
- [17] 李展,彭青玉,韩国强. CCD 图像数字定心算法的比较[J]. 天文学报,2009,50(3): 340-348.

High Precision Measurement Based on e-PSF of Multi-Image

Wang Ting-ting, Su Cheng-yue, Wang Xian, Zhou Zhen

(Faculty of Physics and Optoelectronic Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510009, China)

Abstract: The image fusion as well as high-precision measurement method is applied to astronomical image processing. In processing the final image the effective point spread function can be obtained, and the star's position and brightness information can be got by the e-PSF fitting astrology. The mean precision of x directions was 0.036 pixels, the mean precision of y directions was 0.044 pixels, and the mean Photometry precision was 0.015 magnitude. The measurement results verify the effectiveness of the algorithm.

Key words: Image fusion; e-PSF; High precision measurement.