

·信号与信息处理·

基于形态学的白天近红外星目标检测

王 铎¹, 韩艳丽¹, 张 健¹, 孙腾飞²

(1. 海军航空工程学院, 山东 烟台 264001; 2. 92819部队, 辽宁 大连 116600)

摘要:受多种因素的影响,白天获得的近红外星图像信噪比低,且背景通常是不均匀的,为红外星目标的提取造成了极大的困难。通过理论计算,实际白天拍摄的近红外星图像信噪比极低,使用一般的滤波方法无法提取出恒星目标,形态学运算对于星图像的处理具有较好的效果。首先分析目标及噪声大小,选择较大的结构元素,然后组合开运算及顶帽变换,提取出背景,得到只含有目标及噪声的图像,然后改变结构元素大小,消除掉噪声,进行目标分割。实验证明,可较好地分离出恒星目标。

关键词:形态学;结构元素;白天;近红外星图

中图分类号:TN215;TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2012)05-0052-04

Near-infrared Star Target Detection Based on Morphology during Daytime

WANG Duo¹, HAN Yan-li¹, ZHANG Jian¹, SUN Teng-fei²

(1. Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China;
2. 92819 Army Unit, Dalian 116600, China)

Abstract: Influenced by many factors, the near-infrared star images have a low SNR. And the background is always non-uniform, it brings great difficulties in the process of picking up near-infrared star target. According to theoretical calculation, near-infrared star images taken in actual daytime have a very low SNR, star targets can not be picked up by common filtering method. Morphology algorithm is excellent to deal with star images. Firstly, the size of targets and noise are analyzed, the structure elements with bigger size are chosen. Based on assembled opening operation and top-hat transformation, the background is picked up and the images which only have targets and noise are got. Then the sizes of structure elements are changed in order to remove the noise and segment the targets. The experiment shows that star target can be perfectly separated.

Key words: morphology; structure elements; daytime; near-infrared star image

星图目标的提取对于天文导航具有极其重要的作用,但在实际拍摄过程中,受各种因素的影响,红外图像存在信噪比低,对比度差的问题^[1]。文献[2]使用多帧叠加的方法来增大信噪比,文献[3]提出在帧叠加之前先对序列图像中的每一帧进行中值滤波,以进一步增大信噪比,然而对于白天拍摄的近红外星图,两种方法对信噪比的改变几乎一样。红外图像的背景主要是大面积缓慢变化的低频成分,通常

目标的几何尺寸小到无法提取任何形状信息,只是一个亮点或亮斑^[4]。对于远距离小目标,背景中细节成分较少,在大多数情况下,背景比较平缓,像素间有强的相关性,占据图像空间频域的低频分量^[5]。目前,红外图像的预处理多采用固定邻域、非线性技术来对图像进行增强,这些方法在增强图像对比度的同时也放大了噪声^[6-7],而另外一些如基于小波、神经网络和模糊技术的新方法,虽然在某些领域取得

收稿日期:2012-07-12

基金项目:国家863项目(2010AAJ140)

作者简介:王铎(1986-),男,河南新郑人,硕士研究生,研究方向为天文导航;韩艳丽(1965-),女,教授,硕士生导师,研究方向为图像处理、天文导航与光电技术;张健(1982-),男,博士研究生,研究方向为图像处理。

很好的效果,但算法复杂,不便于硬件实现^[8-9]。形态学对于星图像的提取具有较好的效果。

1 形态学简介

数学形态学是一种非线性滤波,应用于图像和模式识别领域,其理论基础深,综合了多门学科知识,但其原理却比较简单,主要体现逻辑推理和严谨的数学演绎。数学形态学提供的强大工具可用来解决图像处理中的问题。

1.1 膨胀

膨胀是在二值图像中“加长”或“变粗”的操作。这种特殊的方式和变粗的程度由一个称为结构元素的集合控制。数学上,膨胀定义为集合运算, A 、 B 为 Z^2 中的集合, \emptyset 为空集, \hat{B} 为 B 的映像, A 被 B 膨胀,记为 $A \oplus B$,定义为

$$A \oplus B = \{x | (\hat{B})_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (1)$$

式(1)是以 B 关于它的原点的映像,并且以 x 对映像进行平移为基础的。 B 对 A 的膨胀是所有位移 x 的集合,这样, \hat{B} 对 A 至少有一个元素是重叠的。根据这种解释,以上定义可以等价变成

$$A \oplus B = \{x | (\hat{B})_x \cap A \subseteq A\} \quad (2)$$

1.2 腐蚀

腐蚀“收缩”或“细化”二值图像中的对象。如膨胀中一样,收缩的方式和程度由结构元素控制。腐蚀的数学定义与膨胀相似, A 被 B 腐蚀,记为 $A \ominus B$,定义为

$$A \ominus B = \{x | (\hat{B})_x \cap A \subseteq A\} \quad (3)$$

也就是说, A 被 B 腐蚀的结果为所有使 B 被 x 平移后包含于 A 的点 x 的集合。

膨胀和腐蚀是与数学形态学紧密相连的两个基本运算,一个运算是相对于目标的操作,而另一个是相对于背景的操作。

1.3 开运算和闭运算

开运算和闭运算是除膨胀和腐蚀以外的两个比较重要的形态学运算。开运算一般能平滑图像的轮廓,消弱狭窄的部分,多用于去除暗背景上比结构元素更小的明亮细节。闭运算也是平滑图像的轮廓,与开运算相反,它一般融合窄的缺口和细长的弯口,

去掉小洞,多用于去除亮背景上比结构元素更小的暗细节。

设 A 是原始图像, B 为结构元素,则 A 被结构元素 B 做开运算记为 $A \circ B$,定义为

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (4)$$

可以看出, B 对 A 开运算就是 A 被 B 腐蚀后的结果再被 B 膨胀。

同样, A 被结构元素 B 做闭运算记为 $A \cdot B$,定义为

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (5)$$

换句话说, B 对 A 闭运算就是 A 被 B 膨胀后的结果再被 B 腐蚀。

1.4 灰度级形态学

几乎所有的二值形态学运算都可以扩展到灰度级形态学,主要介绍膨胀、腐蚀、开运算和闭运算。设 $f(x, y)$ 为输入图像, $b(x, y)$ 为结构元素,其中 (x, y) 为图像平面空间的坐标点, f 为 (x, y) 点的灰度值, b 为 (x, y) 的结构函数值, D_f 和 D_b 分别是 f 和 b 的定义域,上述四种运算的表达式为^[10]

(1)膨胀。

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s-x, t-y) + b(x, y)\} \quad (6)$$

其中, $[(s-x, t-y)] \in D_f$; $(x, y) \in D_b$ 。

(2)腐蚀。

$$(f \ominus b)(s, t) = \min\{f(s+x, t+y) - b(x, y)\} \quad (7)$$

其中, $[(s+x, t+y)] \in D_f$; $(x, y) \in D_b$ 。

(3)开运算。

$$f \circ b = (f \ominus b) \oplus b \quad (8)$$

(4)闭运算。

$$f \cdot b = (f \oplus b) \ominus b \quad (9)$$

2 星图预处理及理论计算

采用的小口径相机工作在 $0.8 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 波段,白天拍摄到的近红外星图,由于背景辐射强烈,星目标几乎被淹没在背景中。根据式(1)和式(2)分别计算对比度^[11]和 m 星等辐射^[12]

$$C_m(\lambda, t) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_m(\lambda, t) T(\lambda, \mu_0, \mu, \phi, H) Fun(\lambda) d\lambda}{2\pi\{1 - \cos[\theta/2N]\} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_b(\lambda, \mu_0, \mu, \phi, H) Fun(\lambda) d\lambda} \quad (10)$$

式中, θ 为探测器视场角; N 为CCD阵列大小,

$2\pi\{1 - \cos[\theta/2N]\}$ 为单位像元所占立体角,在采用的探测系统中,其值为 $\frac{2}{60 \times 60} sr$; $T(\lambda, \mu_0, \mu, \phi, H)$ 为大气透过率; $\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_b(\lambda, \mu_0, \mu, \phi, H)$ 是 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段范围内的背景辐射; $\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_m(\lambda, t)$ 是 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段范围内的恒星光谱辐射; 响应波段 $\lambda_1 \sim \lambda_2 \in [0.8 \sim 1.0 \mu m]$; $F_{un}(\lambda)$ 是响应函数,近似处理的情况下可约去

$$F_m = F_0(2.512)^{-m} \quad (11)$$

其中, F_0 为零星等的大气层外辐射出射度,其值为 $1.387 \times 10^{-9} W m^{-2} [12]$ 。

通过 MODTRAN4 模拟大气传输,在中纬度夏季,无风无雨,不考虑云层因素,二氧化碳含量取 386 ppmv 前提下可以得到,2012年6月1日上午6点45分,探测方位角 0° ,探测天顶角 47° ,在长春进行北极星 2 等星探测,该波段恒星——背景对比度为 1.73。与实际拍摄到的白天近红外星图 1 较为接近,根据信噪比计算公式

$$SNR = \frac{T-B}{S} \quad (12)$$

其中, T 为目标区域均值; B 为背景均值,常用整幅图像均值代替; S 为整幅图像标准差,使用像元大小为 345×352 的小口径相机,对已知星等的单颗星进行探测,采集到的序列图像第一帧如图 1 所示,其信噪比为 1.43,与结合式(1)、式(2)计算的恒星——背景对比度相接近,采用多帧叠加的方法进而增大信噪比,15 帧序列图像叠加后的效果如图 2 所示,背景明显变

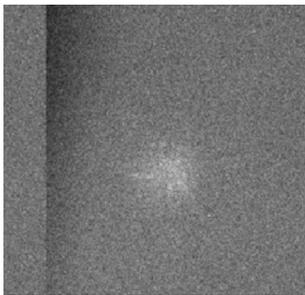


图1 白天近红外星图

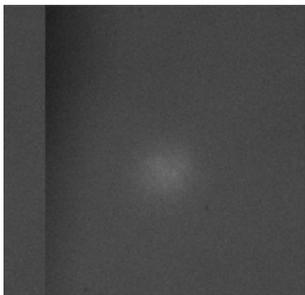


图2 序列图像15帧叠加后的星图

得平滑,其信噪比为 2.15。

3 形态学处理

3.1 目标检测

对近红外星图进行分析,检测星目标主要分为以下几步:

(1) 设置大于目标和噪声几何尺寸的结构元素,利用开运算去除星目标和潜在的噪声点。由于开运算可去除比结构元素更小的明亮细节,在对叠加后的星图 A 进行处理时,经分析,其目标星所占像素在 $20 \times 20 \sim 30 \times 30$ 像素之间,因此,第一次设置较大的结构元素进行开运算,可将星目标及噪声点一起去除,得到只含有背景的图像 B 。

(2) 利用星图 A 减去得到的背景图像,即通常所说的顶帽变换,这样,就得到只含有星目标及潜在噪声点的图像 C 。

(3) 改变结构元素的大小,使其小于星目标几何尺寸而大于潜在的噪声点尺寸,再次使用开运算,去除潜在的噪声点,进而得到含有星目标的图像 T 。

假设第一次使用结构元素为 SE ,第二次使用结构元素为 $SE2$,上述步骤可表示为 $T = [A - (A \circ SE)] \circ SE2$ 。

3.2 目标分割

目标分割是对图像进行二值化处理,以获得目标区域。二值化过程关键是阈值的设定,若亮度大于阈值,则为目标点,反之则为背景点。阈值设定分为固定阈值和自适应阈值,显然,自适应阈值要优于固定阈值。对于红外小目标,阈值 G 的选取通常为

$$G = u + K \times \sigma \quad (13)$$

其中, u 为背景均值; σ 为背景标准差; K 一般取 3~5。

3.3 图像验证

根据以上方法,对叠加后的星图像进行处理,图 3 为其直方图,高灰度区域的两个小峰值为图像文件头信息。阈值分割后的图像如图 4。

4 结 论

使用小口径近红外相机进行恒星探测,由于信噪比低,影响因素多,星目标极易被淹没在背景中,先使用多帧叠加的方法增大信噪比,然后组合多种形态学

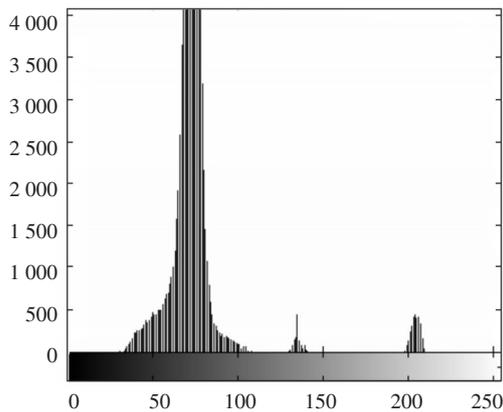


图3 直方图

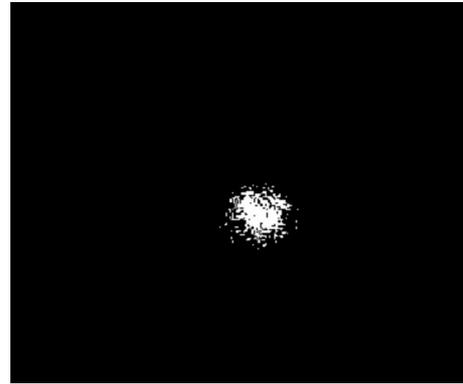


图4 提取星目标

方法,多次改变结构元素对目标星进行检测提取。实验表明,该方法可较好地对星目标进行提取。

参考文献

- [1] 赵春光,王寿峰.红外图像中的自适应维纳滤波噪声抑制技术[J].光电工程,2011,11(38):79-85.
- [2] 王勇,汪建业.低信噪比图像中目标检测提取方法[J].大气与环境光学学报,2008,3(3):228-233.
- [3] 李青,田国昌,汪建业.低信噪比下星光点目标的检测[J].大气与环境光学学报,2008,3(1):77-80.
- [4] 万明,张凤鸣,胡双.基于多步长梯度特征的红外弱小目标检测算法[J].光学学报,2011,10(31):1011001-1-1011001-6.
- [5] 张弘,赵保军,毛二可,等.复杂背景下的红外点目标的检测[J].红外与激光工程,2001,30(2):96-98.
- [6] 罗军辉,姬红兵,刘靳.一种基于空间滤波的红外小目标检测算法及应用[J].红外与毫米波学报,2007,23(3):209-212.
- [7] 张春华,周晓东,陈维真.基于背景抑制的星空图像运动轨迹提取[J].红外与激光工程,2008,37(1):143-146.
- [8] Khan J F, Alam M S. Efficient target detection in cluttered FLIR imagery [C]//SPIE,2005,5816:39-53.
- [9] 张必银,张天序,桑农,等.红外弱小运动目标实时检测的规整化滤波方法[J].红外与毫米波学报,2008,27(2):95-100.
- [10] 康令州,陈福深,王德胜,等.基于形态学算法的红外图像小目标检测方法研究[J].光电工程,2010,37(11):26-31.
- [11] Chen Xiuhong, Wei Heli, et al. Contrast Analysis of the Star Sensor of Star Detection During Daytime[J]. Journal of Atmospheric and Environmental Optics,2008,13(1):28-31 (in Chinese).
- [12] Zhu Qixiang. Detection of Celestial Objects by CCD Camera in the Daytime and the Related Experiments [J]. Opto-Electronic Engineering, 1995, 22(6):1-10 (in Chinese).

(上接第42页)

- and silver metal ohmic contact structure[J]. Semiconductor Science and Technology, 2005, 20: 966-971.
- [9] P N Vinod. Evaluation of the ohmic properties of the silver metal contacts of an improved sintering process on the multi-crystalline silicon solar cells[C]// Physics of Semiconductor Devices, 2007. IWPSD 2007. International Workshop on, 2007, 953-956.
- [10] A S H van der Heide, A Schonecker, G P Wyers, et al. Mapping of contact Resistance and locating shunts on solar cells using resistance analysis by mapping of potential (RAMP) techniques[C]// Proceedings of the 16 th European Photovoltaic Solar Energy,2000.
- [11] P N Vinod. Power loss calculation as a reliable methodology to assess the ohmic losses of the planar ohmic contacts formed on the photovoltaic devices[J]. J Mater Sci: Mater Electron,2008, 19: 594-601.
- [12] P N Vinod. Application of power loss calculation to estimate the specific contact resistance of the screen-printed silver ohmic contacts of the large area silicon solar cells[J]. J Mater Sci: Mater Electron,2007, 18: 805-810.
- [13] 李迎军.选择性发射极太阳能电池的研究及光伏工程中最佳倾角的研究[D].昆明:云南师范大学,2001.