

一种改进的星图中星提取方法

陆敬辉, 王宏力, 郑佳华, 李真真

(第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025)

摘要: 在矢量法基础上, 将改进 SUSAN算法和限制条件下扩展像素标记法相结合, 提出一种改进的星图中星提取方法。仿真结果表明: 该方法的提取精度优于矢量法, 有较强的抗噪声干扰和剔除暗星能力。

关键词: SUSAN算法; 方形模板; 扩展像素标记法; 星提取

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-9787(2008)06-0031-03

Improved approach to star extraction from star image

LU Jing-hui, WANG Hong-li, ZHENG Jia-hua, LI Zhen-zhen

(The Second Artillery Engineering Institute Xi'an 710025 China)

Abstract: Based on the vector technique, an improved approach to star extraction from star image is proposed, which comprised of the improved SUSAN algorithm and the limited pixel labeling technique. The simulation results show that the precision of the proposed algorithm is much higher than that of the vector technique and it has strong abilities of anti-noise and eliminating faint star.

Key words: SUSAN algorithm; square template; pixel labeling technique; star extraction

0 引言

从 CCD 星敏传感器拍摄的恒星图像中提取星体目标是进行星图识别和姿态确定的前提, 它不仅影响到星图识别的效率, 更关系到姿态计算的精度, 因此, 如何快速而准确地从星图中提取星体目标十分重要。目前, 星提取方法主要有扫描法和矢量法^[1], 其中, 矢量法可以看作是扫描法的快速算法^[2]。由于噪声干扰, 星图中会产生大量的虚假目标点, 从而导致扫描法的聚类过程极其耗时, 噪声干扰同样会使矢量法对星提取的性能下降。

星图是以恒星为观测目标, 恒星可以看作是无穷远的、微弱的、具有一定光谱特性的点光源。恒星在 CCD 平面上的表现为较暗背景上的点状光斑, 光斑的直径大小一般为 3~5 个像素^[3], 其灰度值反映了星等。星体目标在成像平面上特征表现为除灰度信息以外光斑几何面积。若要进行星图中星体目标的提取, 主要用到灰度信息, 因此, 本文采用一种基于图像灰度对几何特征点提取的算法——SUSAN 算法^[4-6], 对星图中星提取方法改进, 可以充分利用星图的灰度和面积 2 个主要特征对星体目标判断。首先, 改进矢量法, 缩小扫描区域; 其次, 结合成像平面形状改进 SUSAN 模板和算法, 判断可能的星体目标; 最后, 对扩展像素法进行改造, 附加限制条件; 再次, 判断星体目标完成对星体目标提取。仿真实验表明: 本方法可以很好地抑制噪声干扰

和剔除暗星, 能准确提取星体目标。

1 星图预处理方法

1.1 星图背景阈值设定

实际观测的星图中包括星体目标点、暗星、噪声、脉冲等干扰形成的虚假目标点, 其余的大部分是星空的背景。在成像的星图中, 星体目标点和噪声、脉冲等小目标同为高频分量, 背景为低频分量。由于星图的背景是大面积平缓变化的天空场景, 像素之间有很强的相关性, 占据了图像频域的低频分量, 为了抑制这种背景, 可以采用设置阈值的方法滤掉低频星空背景。本文采用自适应阈值法。自适应(自动)阈值法作为实际图像阈值的确定方法, 具有很强的灵活性, 主要是根据实时得到的图像数据进行阈值计算, 它的数学表达式为^[7]

$$V_{th} = E + \alpha \sigma, \quad (1)$$

式中 E 为图像的均值, 即整幅图像所有像素值 (A_{xy}) 的

加和平均, 且 $E = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n A_{xy}}{mn}$; σ 为图像的方差, $\sigma =$

$$\sqrt{\frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (A_{xy} - E)^2}{mn - 1}}; \alpha \text{ 为一个与噪声有关的常值系数, 经}$$

验上, 在 10^{-5} 量级的虚警概率条件下, 参数 (镜头焦距, 曝光时间) 不同, α 的数值取 3~5

1.2 灰度差函数计算

设置灰度差值函数计算星图中每一像元与自适应阈值的差值。灰度差值函数为

$$\Delta I_{ij} = \begin{cases} I_{ij} - I_k & I_{ij} - I_k \geq T \\ 0 & I_{ij} - I_k < T \end{cases} \quad (2)$$

式中 I_{ij} 为计算的目标点灰度值; I_k 取值等于自适应阈值即 ($I_k = V_{th}$); T 为灰度阈值, 可以根据所选的星等范围进行确定, 这样, 可很好地抑制噪声。

2 星图中星点判断方法

2.1 改进矢量法

用矢量法对图像整体进行逐行、逐列的扫描。为了能够快速提取可能的星点, 在扫描中同时引入 2 个矢量: I_r 和 I_c 的维数为 CCD 图形矩阵的行数 m , I_c 的维数为 CCD 图形矩阵的列数 n , I_r 和 I_c 分别存储每行、每列中灰度差最大的像元位置。

例如: $I_c(77) = 144$ 表示第 77 列灰度差最大的像元在第 144 行。

假设 $m=n$ 由向量 I_r 和 I_c 可以确定点的个数为

$$R \leq R \leq 2n.$$

其中, R 为可能存在的星点个数。

本方法在实际应用中, 对扫描区域进行改进。因为在下一步星体目标点判断过程中采用 SUSAN 模板, 可以对整幅图像缩小扫描区域。扫描区域为

$$(n-4) \times (n-4).$$

确定点的个数变为

$$n-4 \leq R \leq 2(n-4).$$

减少扫描量, 提高效率。

2.2 改进 SUSAN 算法

本文所用 SUSAN 算法是在原算法基础上的改进。SUSAN 算法是通过一个圆形模板来实现的, 一般用于图像处理中角点特征提取, 其算法描述如下:

构造一个圆形窗口模板, 位于圆形窗口模板中心等待检测的像素点称为核心点, 核心点的邻域被划分为 2 个区域: 亮度值等于 (相似于) 核心点亮度的区域即核值相似区 (即 USAN 区域) 和亮度值不相似于核心点亮度的区域。USAN 区域的概念是 SUSAN 算法的准则, 它包含了图像结构中大量的信息。圆形窗口模板滑动到不同位置时 USAN 区域的面积大小是不同的, 真实的角点、边缘点、目标内部点和噪声点对应的 USAN 区域面积大小存在差异。

SUSAN 算法一般使用的模板半径为 3~4 个像元^[3]。在实际观测星图中, 星体目标的直径一般为 3~5 像元的大小, 且灰度近似成高斯分布。所以, 本文方法使用 5×5 的模板, 直径约为 5 个像元, 对 SUSAN 算法进行了改进, 采用方形区域。模板如图 1 所示。

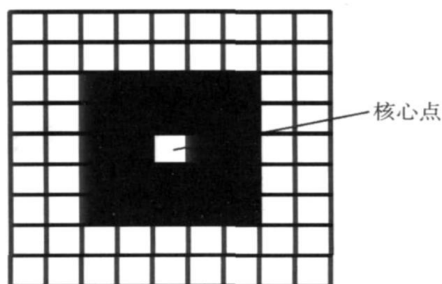


图 1 改进的 SUSAN 模板

Figure 1 Improved SUSAN template

改进的 SUSAN 算法:

1) 找出模板中非 0 点

将模板置于矢量法所确定的每行、每列中灰度差值最大像元, 以其为核心点, 将模板中各点与核心点灰度差值用下面函数逻辑运算, 即

$$C(r_0, r) = \begin{cases} 1 & \Delta I(r) \&\& \Delta I(r_0) = 1 \\ 0 & \Delta I(r) \&\& \Delta I(r_0) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中 r_0 为图像模板中核心点的位置; r 为模板中其他点的位置; $\Delta I(r)$ 为模板中任意像素点的灰度值。

2) 求 USAN 区域的大小

模板中所有的像元都用式 (3) 的逻辑运算并求出 C 的和值 n

$$n(r_0) = \sum_r C(r, r_0). \quad (4)$$

和值就是 USAN 区域的像元个数, 即获得了 USAN 区域的面积。下一步将它与几何阈值进行比较获得最终的响应函数。

3) 模板中是否存在星体目标点的判断

$$R = \begin{cases} n & n \geq g \\ 0 & n < g \end{cases} \quad (5)$$

式中 R 为响应函数; g 一般取值为 8 因为星体目标的直径一般为 3~5 像元的大小, 取其最小的可能值 3×3 这样, 可以解决暗星的干扰 (其所占的像元比较少, 难以精确算出质心的坐标), 也可以排除单点噪声。

3 星体目标提取方法

结合本文方法实际的基础上对扩展像素法进行限定。在上一步骤中已经用 SUSAN 模板来判断该区域是否存在星体目标点, 若存在, 对可能的星点再次判断。先对该核心点上、下、左、右 4 个像元的灰度差值进行扫描, 若这 4 个像元中出现灰度差值为 0 的像元, 则放弃该核心点为可能存在的星体目标点 (因为采用模板扫描, 若核心点是星点则服从高斯分布是对称的), 否则, 对模板采用八连通域判决进行扫描, 存在灰度值的点按顺序作标记 1 2 3 ..., 在做

标记过程中要对每一个新像素的上方和左边进行判断(八连通域),如果相连的点已经做过标记,则该点标记为相连点中的最小编号(与传统的扫描法相似)。当整幅图像用模板扫描后,星体目标也被定位。综合以上的方法,为星体目标质心的提取赢得了时间。

本文采用带阈值的质心法^[8]提取星体目标的质心。带阈值的质心法计算公式如下

$$\begin{cases} X_0 = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [F(x,y) - T] x}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [F(x,y) - T]} \\ Y_0 = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [F(x,y) - T] y}{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n [F(x,y) - T]} \end{cases} \quad (6)$$

由于图像可以看成是目标和背景的叠加,因此, T 常取背景阈值。在本文中,已经对图像设置自适应的阈值,并且,计算出图像每一个像素与自适应阈值的差值 ΔI_{ij} 。T 的取值可以为自适应阈值 V_{th} ,即, $F(x,y) - T = \Delta I_{ij}$ 。所以,采用带阈值的质心法更方便。可以从理论证明:带阈值的质心法具有更高的精度。

4 仿真验证与分析

采用 VC++6.0 对本文算法性能进行了仿真。仿真条件是^[2]:视场大小为 $8^{\circ} \times 8^{\circ}$;采用 $512 \text{像素} \times 512 \text{像素}$ 的 CCD 作为成像器件,其星等灵敏度为 6.5 星等。对用计算机近似模拟 CCD 星敏感器所拍摄的星空图片和对星图进行星的提取两部分进行仿真。用 SKO 星表,以赤经 150° 、赤纬 0° 、偏航角为 90° 为例,其视场范围内有 5 颗星。算法的流程图如图 2 所示。

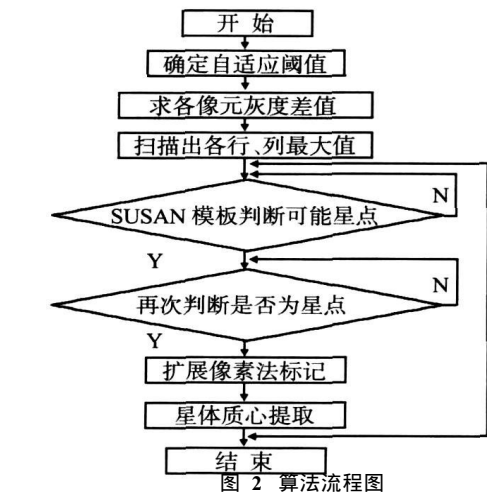


图 2 算法流程图

实验中,星图背景加上均值为 0 方差 (σ^2) 不同的高斯白噪声。表 1 中列出了本文方法与矢量法比较结果(参考文献^[2]中所定义星图中星的获取性能指标)。

表 1 本文方法与矢量法的比较
Tab 1 Comparison of this technique and vector technique

σ^2	本文方法			矢量法		
	提取星个数	提取时间 (ms)	精度	提取星个数	提取时间 (ms)	精度
0	5	56	0.9942	5	31	0.9941
0.00001	6	70	0.7612	30	62	0.1359
0.00010	6	69	0.6541	30	63	0.1294
0.00100	7	70	0.4282	30	62	0.0658
0.01000	9	69	0.1108	30	63	0.0422

从表 1 可知,在不同的噪声条件下本文方法提取的精度均高于矢量法,但从提取的速度上来说矢量法优于本文的算法。随着噪声方差的增加 2 种方法的精度都下降,但矢量法的精度下降更快。本文采用的星图是 $512 \text{像素} \times 512 \text{像素}$,改进的矢量法扫描到的最大值点为 1016 个,由于每一个像素均经过灰度差函数求解,再对 1016 个点用改进 SUSAN 模板和限制条件扩展像素法判断,排除噪声点和暗星,大大地降低了虚警率,减少伪星的提取数量,所以,本文方法的精度高于矢量法。处理过程的相对稳定,在有噪声的情况下,提取的时间也是比较稳定的。

5 结 论

本文用改进的矢量法、改进 SUSAN 算法和限制条件下扩展像素法相结合的方法对星图中星点标定,同时,采用带阈值的质心法对星体提取。改进的 SUSAN 算法有很强的抗噪声和剔除暗星的能力,结合八连通域的判决可以减少扫描量,提高效率。带阈值的质心法是具有较强的抗噪声干扰能力,当阈值约等于背景阈值时,该方法具有最高的精度^[8]。仿真实验表明:本文的方法提取精度优于矢量法,具有较强的抗干扰能力。

参考文献:

[1] Morandi R, Molli A. StarNavII: A three fields of view star tracker[J]. IEEE on Aerospace Conference Proceedings, 2002(1): 47—57.

[2] 田金文, 欧阳桦, 郑 胜, 等. 一种星图中星的提取方法[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2005 33(4): 38—40.

[3] 杨清珍, 陈朝阳, 沈绪榜, 等. 用 FPGA 实现星图目标的质心提取[J]. 计算机与数字工程, 2005 33(10): 63—65.

[4] 陈 乐, 吕文阁, 丁绍华. 角点检测技术研究进展[J]. 自动化技术与应用, 2005 24(5): 1—4.

[5] 席志红, 刘利斌, 许新利. SUSAN 角点检测算法改进[J]. 应用科技, 2006 33(9): 29—31.

[6] 张 帆, 肖阳辉. 一种改进的 SUSAN 角点提取算法[J]. 弹箭与制导学报, 2006 26(1): 446—448.

[7] 李学夔, 郝志航, 李 杰, 等. 星敏感器的星点定位方法研究[J]. 电子器件, 2004 27(4): 571—574.

[8] 魏新国, 张广军, 江 洁. 星敏感器中星图图像的星体细分定位方法研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2003 29(9): 812—815.

作者简介:

陆敬辉(1983—),男,江苏新沂人,硕士研究生,研究方向为星光/惯性组合导航。