

基于改进 SUSAN 算法的箭环目标跟踪与测量

闫旻奇^{1,2}, 唐慧君², 张变莲³

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710119)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

(3 西安文理学院 物理系, 西安 710065)

摘 要:针对发射场火箭初始段漂移量的测量,提出一种带灰度梯度方向的 SUSAN 算子,实现了基于该算子与变模板相关跟踪算法的目标跟踪测量方法.首先在 SUSAN 特征检测原则的基础上,将对角点的检测转化为对边缘的检测,同时记录梯度方向,在剔除了图像噪音点之后,由具有特定方向信息的边缘像素点精确定位角点的坐标.该方法克服了标准 SUSAN 算法准确度低的弊病,使得对目标的提取准确度可以达到亚像素级,并增强了抗噪性能,实验证明该算法提取准确性高,运算量小,易于实现.

关键词:漂移量测量;目标跟踪;SUSAN;角点检测;相关匹配

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2007)10-1933-6

0 引言

从序列图像中检测出运动目标,并对其运动轨迹及姿态进行测量,在军工靶场、科学实验、地质、体育和交通管理等领域都有着广阔的应用.本文描述的算法应用于火箭发射场中的光电测试设备,实现了对图像中火箭箭环角点的测量.

在计算机视觉和图像处理中,角点的定义通常有不同的表述方式,如:图像边界上曲率足够大的点、曲率变化明显的点、方向变化不连续的点、梯度值和梯度变化率高的点等.由此所产生的检测方法也各异,如用方向导数、用链码跟踪后的轮廓点计算曲率、直接以图像灰度信息等来检测角点.文献[1]采用 SUSAN 算法就是一种直接利用图像灰度信息进行角点检测的方法^[2].文献[3]利用角点的几何特征,提出了一种基于边缘细化的角点检测方法.文献[4]提出了一种基于尺度空间理论的 Harris 角点检测方法.这些方法在一定程度上都可以检测出角点,但是应用于火箭发射场中的光电测试设备中时,其检测准确度和速度不能满足要求.本文针对火箭箭环目标,在 SUSAN 算法的基础上进行改进,根据角点邻域的灰度梯度信息,对角点周围的边缘点进行搜索,并利用边缘点的几何特征,提高对角点的测量准确度.然后变模板的相关跟踪,实现对序列图像中箭环角点坐标的高准确度跟踪测量.

位准确、对局部噪音不敏感、运算速度较快等特点.如图 1, SUSAN 算子先将一圆形模板在整幅图像中移动,若模板内某像素的灰度值与模板中心像素的灰度值的差小于某个阈值,则认为两点为同值的.由满足这样条件的像素组成的区域称为核值相似区(Univalue Segment Assimilating Nucleus, USAN).USAN 区域的大小反映了图像局部特征的强度.当模板完全位于背景或目标内部时,则模板中的 USAN 面积最大,如图 1 中的 a、b;当模板逐渐向边缘移动时,USAN 面积逐渐减小,如图 1 中的 c、d;当模板移动到角点时,USAN 面积最小,如图 1 的 e、f.因此 USAN 面积的大小就成为了判断角点的主要依据.

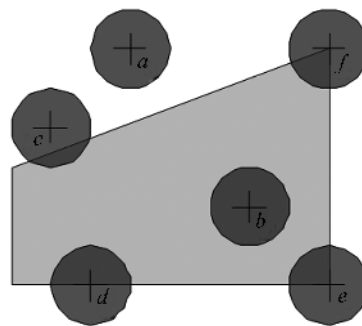


图 1 SUSAN 算子
Fig. 1 SUSAN detector

USAN 区域面积的计算方法为

$$n(r_0) = \sum_{r \in C(r_0)} c(r_0, r) \quad (1)$$

式中 $C(r_0)$ 为中心位于 r_0 的模板区域, $c(r_0, r)$ 为模板内同值像素的判别函数, 定义为

$$c(r_0, r) = \begin{cases} 1, & |I(r) - I(r_0)| \leq t \\ 0, & |I(r) - I(r_0)| > t \end{cases} \quad (2)$$

式中 $I(r)$ 和 $I(r_0)$ 分别代表模板内任意点 r 和模板

1 角点检测

1.1 SUSAN 检测原则

SUSAN 角点检测基于图像灰度, 具有特征定

中心点 r_0 的灰度值, t 为灰度差门限. 角点判决函数可定义为

$$R(r_0) = \begin{cases} 1, n(r_0) \leq g \\ 0, n(r_0) > g \end{cases} \quad (3)$$

式中 g 为几何门限, 决定了所检测到的角点的尖锐程度. 可以看出, 由于在判决时, 是将邻域内的像素进行了累加处理, 可看作是积分, 因此对高斯噪音具有抑制作用. SUSAN 算子不仅可用于角点的提取, 还可用于边缘的提取.

1.2 角点精确定位

标准 SUSAN 算法可以检测图像中的角点. 但从式(2)可看出边缘模糊会导致 t 的选取不当, 因此对于对比度高, 边缘清晰的图像, 角点检测正确率较高; 但是对于边缘模糊的图像, 通常会出现检测失败或误检测. 而且标准 SUSAN 算子提取的准确度为整像素. 对于火箭发射初始段的特定目标箭环角点, 四条直线分别接近水平和垂直, 利用角点的直线几何约束来提高定位准确度, 获得较好的效果. 本文在标准 SUSAN 算子提取角点的过程中进行灰度梯度分析, 检测角点周围的边缘点, 由边缘点构建直线, 求出直线交点, 然后计算角点的精确坐标.

1.2.1 带方向的 SUSAN 算子

将带方向的 SUSAN 算子的定义为: 计算 USAN 的同时, 计算模板中心像素点在水平和垂直方向上的(灰度)梯度方向. 由此 SUSAN 模板不仅包含 USAN 区域面积, 同时包含了该像素处梯度方向信息. 实现方法如下:

1) 设置模板. 设置一个圆形模板, 如图 2.

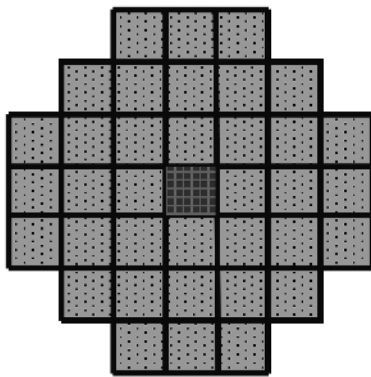


图 2 SUSAN 模板
Fig.2 SUSAN model

2) 角点判别. 将模板中心移动至图像中某像素上. 确定 SUSAN 算子的灰度差门限 t 和几何门限 g .

灰度差门限的选取采用自适应取值, 自适应区域可以为模板内部或者包含模板的模板邻域.

$$t = a \times \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{i_{\max}} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{i_{\min}} \right] \quad (4)$$

式中, $I_{i_{\max}}$ 和 $I_{i_{\min}}$ ($i=1, 2, \dots, n$) 分别代表图像自适

应区域中最大的 n 个灰度值和最小的 n 个灰度值, a 为比例系数. 根据文献[5], t 的取值占到 ΔI ($\Delta I = I_{\max} - I_{\min}$, 在目标和背景均匀的情况下, ΔI 代表了图像的绝对对比度) 的 15%~30% 的时候, 能够较好地提取不同对比度下的角点特征, 故比例系数 a 一般取 0.15~0.30. 这里为了保证角点提取的成功率, 将 a 设置为 0.15. n 一般取 5~10, 本文中 n 设置为 7.

几何门限 g 设为 11, 即略大于模板面积的 1/4 (模板面积为 37).

3) 各向灰度统计. 为模板中心像素点设置四个变量 $V_{\text{上}}$ 、 $V_{\text{下}}$ 、 $V_{\text{左}}$ 和 $V_{\text{右}}$, 作为该点邻域灰度分布的统计量, 分别存储邻域中四个方向像素的灰度之和, 用于计算邻域灰度方向, 即

$$V_{\text{上}} = \sum_{R \in C_{\text{上}}(R_0)} I_{(R)} \quad (5)$$

$$V_{\text{下}} = \sum_{R \in C_{\text{下}}(R_0)} I_{(R)} \quad (6)$$

$$V_{\text{左}} = \sum_{R \in C_{\text{左}}(R_0)} I_{(R)} \quad (7)$$

$$V_{\text{右}} = \sum_{R \in C_{\text{右}}(R_0)} I_{(R)} \quad (8)$$

式中 $I_{(R)}$ 为 R 处的灰度值, $C_{\text{上}}(R_0)$ 、 $C_{\text{下}}(R_0)$ 、 $C_{\text{左}}(R_0)$ 和 $C_{\text{右}}(R_0)$ 分别为模板内位于中心像素点 R_0 的上方、下方、左方和右方的点集.

$$C_{\text{上}}(R_0) = \{R | y_R < y_{R_0}\} \quad (9)$$

$$C_{\text{下}}(R_0) = \{R | y_R > y_{R_0}\} \quad (10)$$

$$C_{\text{左}}(R_0) = \{R | x_R < x_{R_0}\} \quad (11)$$

$$C_{\text{右}}(R_0) = \{R | x_R > x_{R_0}\} \quad (12)$$

在使用标准 SUSAN 算子计算模板内任意一个像素点与模板中心点的灰度差的同时, 判断该点在模板中的位置, 计算 $V_{\text{上}}$ 、 $V_{\text{下}}$ 、 $V_{\text{左}}$ 和 $V_{\text{右}}$, 用于计算灰度梯度方向.

4) 灰度梯度方向计算. 将由步骤 4) 计算所得的 t 值与 g 值代入式(1)、(3)中, 计算 USAN 面积, 并判断该像素点是否为角点. 同时根据步骤 3) 计算所得的 $V_{\text{上}}$ 、 $V_{\text{下}}$ 、 $V_{\text{左}}$ 和 $V_{\text{右}}$, 分别计算垂直与水平方向上的灰度梯度 $\Delta V_{\text{垂直}}$ 和 $\Delta V_{\text{水平}}$, 式中

$$\Delta V_{\text{垂直}} = V_{\text{上}} - V_{\text{下}} \quad (13)$$

$$\Delta V_{\text{水平}} = V_{\text{左}} - V_{\text{右}} \quad (14)$$

设定一个梯度方向判决阈值 k , 若 $\Delta V_{\text{垂直}} \geq k$, 则认为垂直梯度方向自上而下; 若 $\Delta V_{\text{垂直}} \leq -k$, 则认为垂直梯度方向为自下而上; 若 $k \geq \Delta V_{\text{垂直}} \geq -k$, 则认为在垂直方向上灰度变化方向不明显. 同理确定水平梯度方向.

由于局部图像的对比度通常变化较大, 对比度的变化会直接影响到 $\Delta V_{\text{垂直}}$ 和 $\Delta V_{\text{水平}}$ 的大小; 模板的大小也会成比例的影响 $\Delta V_{\text{垂直}}$ 和 $\Delta V_{\text{水平}}$ 的大小. 因此 k 的取值应当能消除或削弱上述因素对 $\Delta V_{\text{垂直}}$

和 $\Delta V_{\text{水平}}$ 的影响,经过实验和计算, k 的取值方法为

$$k = \alpha \times \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{i_{\max}} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{i_{\min}} \right] \times l \quad (15)$$

式中 α 、 n 、 $I_{i_{\max}}$ 和 $I_{i_{\min}}$ 的定义同式(4)一致, l 为 $C_{\text{上}}(R_0)$ 或 $C_{\text{左}}(R_0)$ 中像素的个数,例如在上述的圆形模板中, l 为 15. 通过实验,当 α 的取值在 0.25~0.4 之间时,效果最好,本文设置 α 的值为 0.33,与步骤 2) 类似,这里设置 n 的值为 $\left[\frac{7}{15} \times l \right]$. 此时 k 与模板的大小无关,且受图像对比度变化的影响也较小. 利用计算得到的 k 判断梯度方向 $\Delta V_{\text{垂直}}$ 和 $\Delta V_{\text{水平}}$.

5) 移动 SUSAN 模板,重复步骤 2)~4),在全图中搜索角点. 此时搜索到的角点具有垂直梯度方向与水平梯度方向.

1.2.2 角点附近的边缘点搜索和提取

将带方向的 SUSAN 算子应用于图像中,可得到一个或多个角点的粗略坐标及这些角点的梯度方向,分别在各角点附近搜索边缘点.

将对边缘点的搜索分为上、下、左、右四个方向进行. 以向左搜索为例,按照上邻域,下邻域,左邻域的顺序进行搜索,构成一个二叉树结构,其中三个树枝分别为上邻域像素点,下邻域像素点,左邻域像素点,然后通过先序遍历^[6]的方法对二叉树的各个结点作处理. 搜索过程中,对每个像素点按照上文中 1)~5) 所述的方法再次计算梯度方向,由于是搜索边缘点,几何门限 g 设为 20,即略大于模板面积的 1/2. 如果该像素点的垂直梯度方向与角点一致,则记录该点坐标及垂直梯度方向的强度 $\Delta V_{\text{垂直}}$,将其置于水平样本点集中,再将此点作为二叉树的一个中间节点按照规则产生三个新的节点;如果该像素点在垂直方向上灰度变化不明显,则不做处理,也不产生新节点;如果该像素点的垂直梯度方向与角点相反则停止对该方向的搜索(即向左搜索). 为了控制搜索的规模,可以设置搜索的范围,即限制搜索点在水平和垂直方向上与角点的距离.

同理向右再进行搜索,两次搜索的结果构成水平样本点集. 类似地,垂直样本点集也可获得.

1.2.3 角点坐标精确计算

对角点附近边缘点的提取可以获得两个样本点集,是构成角点的两条直线上或直线附近的点的集合. 对这两个点集分别进行加权的直线拟合^[7],各点的权值为该点相应梯度方向的强度,由此构建得到两个直线方程. 由于采用了加权拟合,可以削弱样本点集中距离真实边缘较远的杂点对直线方程计算的影响. 计算两直线的交点坐标,将其作为角点

的精确坐标,该值为亚像素坐标值.

2 相关跟踪

一幅图像中可以被 SUSAN 算子提取出来多个角点,需要对这些角点进行判断,从中分辨出所需要的箭环角点,并对该角点进行目标跟踪. 因此,对该类角点所在的区域进行粗定位显得尤为重要,在初始状态,粗定位可以通过界面交互完成;在后继图像中,粗定位是通过跟踪实现的. 粗定位可以缩小实际处理的图像,提高运算速度,减少不必要的误判.

对序列图像中箭环角点附近区域的跟踪是利用相关跟踪算法实现的. 该算法对图像质量要求不高,可在低信噪比条件下正常工作;但是对灰度变化平缓区域不敏感,容易出现模板的漂移,从而丢失目标. 这里将角点区域的相关跟踪与应用改进 SUSAN 算子提取精确角点结合起来,在跟踪的同时对模板中心坐标进行修正,利用动态更新模板的方法消除模板的漂移.

首先确定第一帧中的模板区域. 通过界面交互的方式,在需要跟踪测量的角点附近确定一个感兴趣区域,在该区域上利用改进过的 SUSAN 算子精确计算该角点坐标,以该角点为中心重新确定感兴趣区域,并将该区域作为模板保存下来. 在下一帧中,首先通过相关跟踪粗略定位模板的位置,将其作为新图像的感兴趣区域,利用改进过的 SUSAN 算子在该区域中计算角点的新坐标,以该角点为中心重新确定感兴趣区域. 为了克服模板的漂移,需要对模板进行更新,将原模板与新的感兴趣区域作算术平均,将计算所得的新图像作为模板(大小与原模板一致)对下一帧进行相关跟踪. 新的模板与原模板及当帧图像均有关,既可减少由于模板缺少变化所造成的模板漂移,又可削弱单帧图像中的噪音影响. 对于序列图像中背景与目标的变化有着较好的适应性.

3 实验结果

通过 Microsoft Visual C++ 6.0 实现上述方法,并进行测试. 对火箭起飞初始段序列图像进行实验,该序列图像共有 60 张. 由于烟雾和火箭自身旋转等因素,图像质量有所不同,对这些不同质量的图像进行角点提取实验. 表 1 给出了对其中两张图像角点提取的结果.

在实验中,对其中一个角点进行跟踪测量,得到表 2 中的数据.

表 1 各算法角点检测结果比较

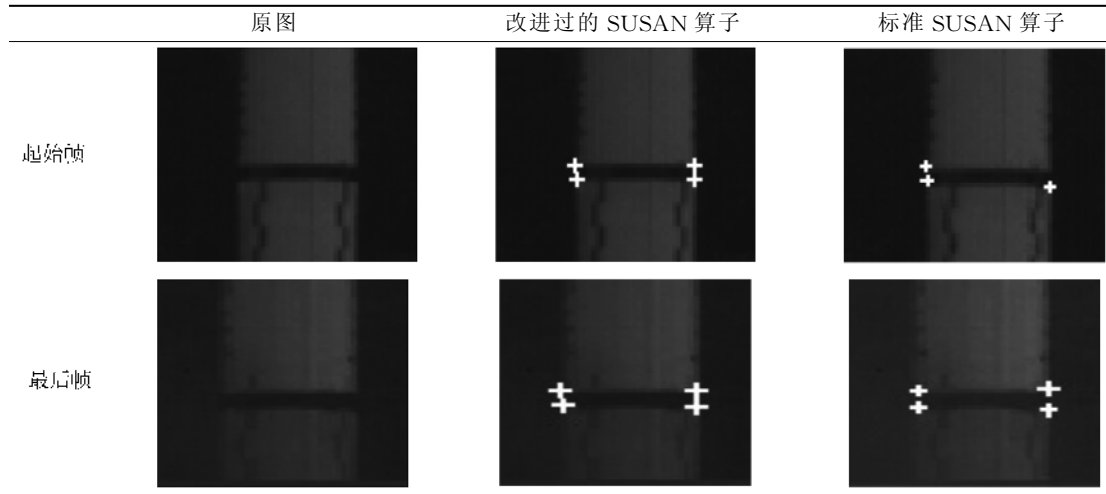


表 2 跟踪结果表

图像 序号	真实值		标准 susan 结合相关跟踪		改进 SUSAN 结合相关跟踪	
	X 坐标	Y 坐标	X 坐标	Y 坐标	X 坐标	Y 坐标
1	688.625	201.375	688.000	201.000	688.672	201.343
2	688.625	200.500	688.000	200.000	688.696	200.664
3	688.625	199.750	688.000	183.000	688.734	199.936
4	688.688	199.250	688.000	200.000	688.697	199.284
5	688.625	198.500	688.000	198.000	688.729	198.643
6	688.688	197.750	688.000	198.000	688.68	197.913
7	688.625	197.438	688.000	181.000	688.573	197.577
8	688.500	196.688	688.000	196.000	688.461	196.916
9	688.438	196.000	687.000	196.000	688.335	196.086
10	688.313	195.438	688.000	195.000	688.318	195.322
11	688.313	194.563	688.000	178.000	688.357	194.539
12	688.313	193.688	687.000	194.000	688.442	193.668
13	688.438	192.813	688.000	192.000	688.465	192.942
14	688.438	192.250	688.000	192.000	688.434	192.32
15	688.438	191.563	688.000	175.000	688.413	191.767
16	688.375	191.125	688.000	191.000	688.443	191.12
17	688.438	190.375	688.000	190.000	688.465	190.167
18	688.438	189.438	688.000	189.000	688.408	189.3
19	688.375	188.563	688.000	188.000	688.473	188.585
20	688.438	187.750	688.000	171.000	688.404	187.759
21	688.375	187.313	688.000	171.000	688.338	187.286
22	688.313	186.500	688.000	186.000	688.383	186.578
23	688.375	185.750	688.000	185.000	688.323	185.85
24	688.313	185.250	688.000	185.000	688.401	185.37
25	688.375	186.063	687.000	168.000	688.33	185.937
26	688.313	184.250	688.000	184.000	688.344	184.272
27	688.375	183.500	688.000	183.000	688.339	183.301
28	688.313	182.563	687.000	166.000	688.276	182.456
29	688.313	181.500	688.000	165.000	688.414	181.481
30	688.438	180.688	688.000	180.000	688.434	180.627
31	688.438	179.813	688.000	180.000	688.558	179.705
32	688.563	179.000	688.000	162.000	688.803	178.901
33	688.813	178.250	688.000	161.000	688.927	178.159
34	689.000	177.438	688.000	177.000	688.735	177.615
35	688.750	176.750	688.000	160.000	688.607	176.92
36	688.625	176.250	688.000	159.000	688.673	176.166
37	688.688	175.313	688.000	158.000	688.645	175.247
38	688.688	174.375	688.000	174.000	688.68	174.214
39	688.750	173.500	688.000	173.000	688.758	173.466

40	688.813	172.625	688.000	172.000	688.973	172.675
41	689.063	171.813	687.000	154.000	688.905	171.757
42	689.000	171.125	688.000	171.000	688.89	171.145
43	689.000	170.438	688.000	154.000	688.759	170.613
44	688.813	169.750	688.000	153.000	688.759	169.909
45	688.875	169.375	688.000	169.000	688.75	169.213
46	688.813	168.500	688.000	152.000	688.731	168.294
47	688.813	167.563	688.000	167.000	688.916	167.565
48	689.000	166.688	688.000	167.000	688.959	166.735
49	689.063	166.063	688.000	166.000	688.986	165.938
50	689.188	165.438	687.000	147.000	689.081	165.47
51	689.188	164.438	688.000	164.000	689.04	164.48
52	689.125	163.688	688.000	147.000	688.963	163.849
53	689.063	163.188	688.000	163.000	688.869	163.259
54	688.938	162.500	688.000	162.000	688.611	162.641
55	688.688	161.813	688.000	145.000	688.621	161.927
56	688.750	161.313	688.000	144.000	688.857	161.059
57	688.938	160.375	688.000	160.000	688.912	160.199
58	689.063	159.375	688.000	160.000	689.025	159.406
59	689.125	158.625	688.000	159.000	688.909	158.856
60	689.000	158.313	688.000	142.000	688.672	158.482

其中改进算法的运算速度为每秒 8 帧,图像大小为 $1\ 280 \times 1\ 024$ 。由表 2 推导出图 3,图 3 表示了 X、Y 两个分量上坐标值的变化情况。

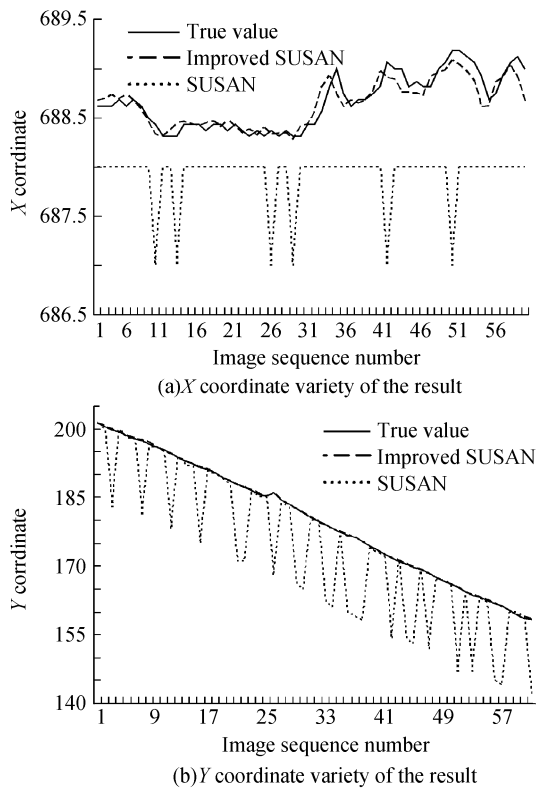


图 3 图像序列跟踪结果

Fig. 3 Results of tracking image sequence

实验表明:1)从表 1 中可看出,应用标准 SUSAN 算子和改进 SUSAN 算子,均可提取出图像中的全部或部分角点;2)从表 2 中可看出使用标准 SUSAN 算子提取角点时出现 23 次提取错误(占提取总数的 37%)。而本文中介绍的算法未出现提取错误;3)从表 2 还可看出两种跟踪测量方法的结

果中,X 分量差别不大,Y 分量上差别较大。标准 SUSAN 算子提取到的正确角点共计 37 个,这些点在 Y 分量上的平均误差为 0.416 像素,最大误差为 0.813 像素;本文所介绍的算法提取到的 60 个点在 Y 分量上的平均误差为 0.107 像素,最大误差为 0.254 像素。

两种方法的测量结果出现这么大的差别主要是因为图像中角点附近区域由于某些原因(如烟雾干扰,光照变化等),图像模糊,使得标准 SUSAN 算子中灰度差门限取值较小;再加上噪音的影响,此时角点附近点的 USAN 面积便可能小于角点的 USAN 面积,系统会误判该点为“角点”。而改进过的 SUSAN 算子不仅利用了模板内的灰度分布的方向信息,而且利用了更大范围内的边缘点的灰度分布信息,因此受到的噪音影响小于标准 SUSAN 算子,而且由于是通过计算直线的交点来获得角点坐标,因此准确度高于标准 SUSAN 算子的整像素准确度。

4 结论

本文针对箭环角点这一特定目标,对 SUSAN 算子进行了改进,利用像素周围各点的灰度分布信息,在提取到的整像素准确度的角点附近搜索边缘点,利用直线加权拟合技术,使得对角点的提取更加精确;结合变模板的相关跟踪技术,在图像序列中能够准确且较精确地提取到所需的角点坐标(此外还可得到该角点的灰度变化方向)。对于由直线正交所构成的角点的跟踪测量,可使用该算法。实验结果证明,该算法对角点目标的提取可以达到亚像

素级,并且相比于传统的 SUSAN 角点,该方法抗噪性能好,并且运算量小,实现速度快.

参考文献

- [1] ROBERT L, ETIENNE V. Wedge-based corner model for widely separated views matching[C]. 16th International Conference on Pattern Recognition, Quebec City, Canada, 2002, **3**: 672-675.
- [2] SMITH S M, BRADY J M. SUSAN-a new approach to low level image processing[J]. *International Journal of Computer Vision*, 1997, **23**(1): 45-78.
- [3] ZOU Qiong-bing, ZHOU Dong-xiang, CAI Xuan-ping. A robust algorithm of image corner detection based on thinning edges [J]. *Computer Application and Software*, 2006, **23**(3): 110-112.
邹琼兵, 周东翔, 蔡宣平. 基于边缘细化的角点检测方法[J]. 计算机应用与软件, 2006, **23**(3): 110-112.
- [4] CHEN Bai-fan, CAI Zi-xing. Harris corner detection based on theory of scale-space[J]. *J CENT SOUTH UNIV (Science and Technology)*, 2005, **36**(5): 751-754.
陈白帆, 蔡自兴. 基于尺度空间理论的 Harris 角点检测[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2005, **36**(5): 751-754.
- [5] ZHANG Kun-hua, WANG Jing-ru, ZHANG Qi-heng. Corner detection based on multi-feature[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2002, **7**(4): 319-324.
张坤华, 王敬儒, 张启衡. 多特征复合的角点提取方法[J]. 中国图象图形学报, 2002, **7**(4): 319-324.
- [6] YAN Wei-min, WU Wei-min. Data structure [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1997: 138-139.
严蔚敏, 吴伟民. 数据结构[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997: 138-139.
- [7] FENG Jian-hu, CHE Gang-ming, NIE Yu-feng. Numerical analysis [M]. Beijing: Science Press, 2001: 81-89.
封建湖, 车刚明, 聂玉峰. 数值分析原理[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 81-89.
- [8] TANG Zi-li, MA Cai-wen, LIU Bo. An approach of determination object's 3D pose from mono-view[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(12): 1480-1485.
唐自力, 马彩文, 刘波. 单站光测图像确定空间目标三维姿态[J]. 光子学报, 2004, **33**(12): 1480-1485.
- [9] ZHAO Jian-wei, WANG Peng, LIU Chong-qing. Watershed image segmentation based on wavelet transform [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(5): 601-604.
赵建伟, 王朋, 刘重庆. 基于小波变换的分水岭图像分割算法[J]. 光子学报, 2003, **32**(5): 601-604.
- [10] ZHAO Jian, YANG Chuan, YU Bian-zhang. Image edge detection based on multifractal analysis [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(1): 61-64.
赵健, 杨川, 俞卞章. 多重分形分析图像边缘提取算法[J]. 光子学报, 2003, **32**(1): 61-64.
- [11] WANG Ping, SU Xiu-qin, LIU Ya-xuan. Dynamic thresholding based region combination [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(3): 378-381.
王萍, 苏秀琴, 刘雅轩. 基于区域全并的动态阈值分割算法[J]. 光子学报, 2004, **33**(3): 378-381.

A New Approach to Moving Target Tracking Based on Improved SUSAN Detector

YAN Min-qi^{1,2}, TANG Hui-jun¹, ZHANG Bian-lian³

(1 Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS, Xi'an 710119, China)

(2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

(3 Physics Department, Xi'an University of Arts and Science, Xi'an 710065)

Received date: 2006-02-25

Abstract: A new algorithm to measure the drift of rockets in the initial launching stage is presented and developed. It is designed to combine the improved SUSAN detector and the correlation. In this method, the corner detector is improved to detect the edge. Meanwhile, the direction of Gradient is recorded. After filter, the coordinates of corners are calculated accurately by using the edge pixels with special direction. The precision and the anti-noise performance is improved by this method. The results show that the precision reaches sub-pixel, with few mistake in detecting, and this algorithm is easy to realize for its less operations.

Keywords: Drift quantity measurement; Target tracking; SUSAN; Corner detector; Correlation



YAN Min-qi was born in 1981 in Shaanxi Province. He received the B. S. degree from Xi'an Jiaotong University, China in 2003. Then he studied at the Graduate University of Chinese Academy of Sciences on communication & information system. Now his research works focus on image processing at Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS.