

多特征复合的角点提取方法

张坤华 王敬儒 张启衡

(中国科学院光电技术研究所五室, 成都 610209)

摘要 提出了一种利用图象灰度特征和边界轮廓点特征相复合的角点检测方法. 首先在 SUSAN 特征检测原则基础上, 提出了基于图象灰度特征的快速自适应特征检测方法, 用以提取不同图象对比度下目标轮廓上的初角点. 利用边沿元对这些包含了部分边缘点的初角点沿边缘方向跟踪排序后, 再根据图象边缘特征检测的边界方向变化情况来确定角点位置, 同时剔除由于图象数字化而导致的虚假角点. 这种方法克服了单一特征提取角点所带来的弊病, 提高了角点检测的精度, 抗噪能力强, 运算量较小, 适于实时实现.

关键词 角点检测 多特征 SUSAN 边沿元

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2002)04-0319-06

Corner Detection Based on Multi-Feature

ZHANG Kun-hua, WANG Jing-ru, ZHANG Qi-heng

(No. 5 Laboratory, Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209)

Abstract The corner is an important local feature of image. To avoid the disadvantages of using the single feature to detect the corner points, a new algorithm based on multi-feature is proposed in this paper. In this algorithm, intensity feature and edge feature are contributed to corner detection. First, a fast adaptive SUSAN principle, which utilizes the local gray-level feature directly, is proposed for detecting the candidate corners. This improved method can detect features, such as corners, edges and intersections, in different contrast image automatically. For detecting the corners on blurry edges, the candidate corners would include some edge points as a result of reducing the detection threshold. These candidate corners, which include true corners, some edge points and a few false points, are arrayed along the boundary trend by the method of edge element. Through these arrayed points, the angles between approximate straight edge lines are calculated to be as the criterion of determining a corner. Those edge points are removed since they have not significant discontinuous changes in the direction of boundary, i. e. the angles of them are not acute enough, and the false corners due to quantization also are removed by our method. After these steps, the true corners are reserved. The experimental results showed this corner detection method having good capabilities of detection and localization in different contrast image.

Keywords Corner detection, Multi-Feature, SUSAN, Edge element

0 引言

角点是图象的一种重要局部特征, 它决定了图象中目标的形状, 所以在图象匹配、目标描述与识别以及运动估计、目标跟踪等领域, 角点提取具有十分重要的意义. 在计算机视觉和图象处理中, 对于角点

的定义有不同的表述, 如: 图象边界上曲率足够高的点^[1]; 图象边界上曲率变化明显的点^[2]; 图象边界方向变化不连续的点^[3]; 图象中梯度值和梯度变化率都很高的点^[4]等等. 由这些不同的定义可以看出, 角点检测的方法也是不尽相同的, 如用链码跟踪后的轮廓点计算曲率来判定角点^[5]; 利用方向导数来检测角点^[6]; 直接以图象灰度信息来检测角点^[1,7]等

等. 对于已有的主要的角点检测方法, 可以把它们归为两类: 一是根据图象边缘特征, 用轮廓点来计算边缘曲率或夹角来判定角点; 二是直接利用灰度信息进行角点检测. 但是这些运用单一特征的方法不是要依赖于前期对图象分割处理的结果, 就是对噪声敏感, 精度较低. 为克服单一特征检测角点所带来的弊病, 在前述两类方法的基础上, 提出了一种利用图象灰度特征和边界轮廓点特征相复合的角点检测方法.

1 基于 SUSAN 原则的自适应快速初角点检测

SUSAN 角点检测是一种直接利用图象灰度进行角点检测的方法, 它具有方法简单、特征定位比较准确、抗噪能力强等特点.

1.1 SUSAN 特征检测原则^[1]

如图 1 所示, 用圆形模板在图象上移动, 若模板内像素的灰度与模板中心像素(核)灰度的差值小于一定阈值, 则认为该点与核具有相同(或相近)的灰度, 由满足这样条件的像素组成的区域称为“USAN”(Univalue Segment Assimilating Nucleus). 把图象中的每个像素与具有相似灰度值的局部区域相联系是 SUSAN 原则的基础.

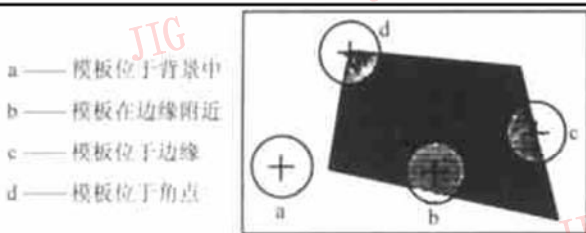


图 1 SUSAN 原则中模板的位置

具体检测时, 是用圆形模板扫描整个图象, 比较模板内每一像素与中心像素的灰度值, 并给定阈值来判别该像素是否属于 USAN 区域, 如下式

$$c(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) = \begin{cases} 1 & \text{if } |I(\mathbf{r}) - I(\mathbf{r}_0)| \leq t \\ 0 & \text{if } |I(\mathbf{r}) - I(\mathbf{r}_0)| > t \end{cases} \quad (1)$$

式中, $c(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0)$ 为模板内属于 USAN 区域的像素的判别函数, $I(\mathbf{r}_0)$ 是模板中心像素(核)的灰度值, $I(\mathbf{r})$ 为模板内其他任意像素的灰度值, t 是灰度差门限. 则图象中某一点 USAN 区域大小可由下式表示

$$n(\mathbf{r}_0) = \sum_{\mathbf{r} \in C(\mathbf{r}_0)} c(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) \quad (2)$$

式中, $C(\mathbf{r}_0)$ 是以 \mathbf{r}_0 为圆心的模板.

USAN 区域包含了图象局部许多重要的结构信息, 它的大小反映了图象局部特征的强度, 当圆形模板完全处在背景或目标中时, USAN 区域面积最大(如图 1 中的 a); 当模板移向目标边缘时, USAN 区域逐渐变小(如图 1 中的 b); 当模板中心处于边缘时, USAN 区域很小(如图 1 中的 c); 当模板中心处于角点时, USAN 区域最小(如图 1 中的 d). 在得到每个像素的 USAN 区域后, 再由下式产生 USAN 特征图象

$$R(\mathbf{r}_0) = \begin{cases} g - n(\mathbf{r}_0) & \text{if } n(\mathbf{r}_0) < g \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

式中, g 为几何门限, g 取得越小, 所检测到的角点越尖锐. 用这种原理, 取不同的几何门限, 不但能检测角点, 还可以检测交点、边缘等特征.

SUSAN 检测原则有一个突出的优点就是对局部噪声不敏感, 抗噪能力强. 这是由于 SUSAN 特征检测原则不依赖于前期图象分割的结果, 并避免了梯度计算, 另外, USAN 区域是由模板内与模板中心像素灰度具有相似灰度的像素累加而得, 这实际上是一个积分的过程, 对于高斯噪声有很好的抑制作用. 图 2 为用不同方法提取的具有噪声的图象目标边缘结果.

可以明显看到, SUSAN 算法的抗噪能力最强, 能很好的抑制孤立噪声点. 用 SUSAN 特征检测法提取的角点, 其中混杂噪声点的可能性比较小.

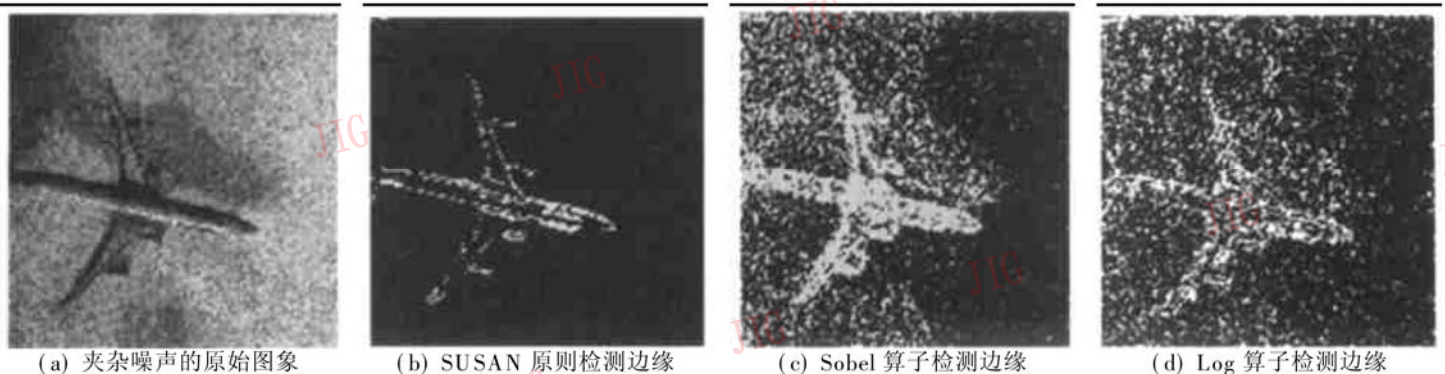


图 2 不同方法提取的夹杂噪声的图象目标边缘结果

2.2 快速自适应 SUSAN 角点检测

运用 SUSAN 原则检测角点有两个值得注意的问题: 一是 t 和 g 这两个门限的确定, 二是模板的形状和尺寸的选取, 这两个问题直接关系到角点检测的精度和速度.

(1) t, g 的确定

门限 g 决定了输出角点的 USAN 区域的最大值, 即只要图象中的象素具有比 g 小的 USAN 区域, 该点就被判定为角点. g 的大小不但决定了可从图象中提取角点的多寡, 而且如前所述, 它还决定了所检测到的角点的尖锐程度. 所以一旦确定了所需角点的质量(尖锐程度), g 就可以取一个固定不变的值.

门限 t 表示所能检测角点的最小对比度, 也是能忽略的噪声的最大容限. 它主要决定了能够提取的特征数量, t 越小, 可从对比度越低的图象中提取特征, 而且提取的特征也越多. 因此对于不同对比度和噪声情况的图象, 应取不同的 t 值. 然而一个好的算法, 门限的取值不应该依赖于人为的干涉, 而应根据不同条件自动给出最优值. 通过对图象灰度值和对比度进行分析, 提出不同图象对比度下, t 的自适应取值方法, 即

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

式中, $I_{i_{\max}}$ 和 $I_{i_{\min}}$ ($i=1, 2, \dots, n$) 分别代表图象中最大的 i 个灰度值和最小的 i 个灰度值, n 一般取 5~10. 实验证明, 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 代表了图象的绝对对比度) 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.

(2) 模板形状和尺寸的选取

SUSAN 原则采用圆形模板, 目的是使检测达到各向同性. 然而在实际运用中, 由于图象的数字化, 真正的圆形模板无法实现, 都是采用近似圆代替, 这样做就带来了一定的误差, 并且增加了运算量. 本文采用 $m \times m$ 的方形模板, 并用隔行隔列的网格方式进行扫描. 通过实验证明, 检测到的角点精度与采用近似圆形模板逐点扫描检测到的角点精度相差不多, 但运算速度却大大提高了.

文献[1]中指出, 角点的精度与模板大小无关, 这是因为无论模板取多大尺寸, 角点一定发生在最小 USAN 区域处. 模板的大小与能够检测到的角点

的数量有关, 模板取得越大, 能够检测到的角点数越少, 换句话说, 就是检测到的角点越尖锐; 另外, 模板取得越大, 运算量越大, 这是显而易见的, 所以在检测初角点的时候, 在满足所要检测角点质量的条件下, 模板不宜取得太大, 这样一方面不至于把所需要的但并不是太尖锐的角点漏检, 另一方面又能提高运算效率. 一般 m 取 4~10 左右.

2 基于边界特征的角点确定

运用 SUSAN 原则进行角点提取有一个突出的弊病, 那就是当图象目标边缘模糊, 尤其是当存在角点的边缘模糊时, 角点提取会不精确, 甚至失败. 基于 SUSAN 原则中对对比度越低, 门限 t 应取越小的准则, 可适当降低 t 的取值, 以提取模糊边缘处存在的初角点. 但是门限 t 的减小会导致提取的初角点中存在一部分边界点, 然而这并不是缺点, 因为这样的边界点一定出现在真正角点的前后两侧, 另外, 用 SUSAN 原则检测角点特征, 相对检测其他特征来说, g 的取值比较严格, 这样就使得由于 t 的减小而导致初角点中的边界点一般比较少, 这为采用边界点来进一步提高角点的定位精度提供了有利条件.

2.1 边界跟踪

SUSAN 方法检测的初角点(包括角点和部分边界点)是按扫描次序, 而不是按边缘的趋向排列的. 为了利用初角点来确定真正的角点, 本文采用边沿元跟踪方法对初角点进行沿边缘趋向的排序, 并给出完整的跟踪排序步骤.

首先给出边沿元的定义^[8]. 设初角点提取后的二值化图象中, 目标点为“1”, 背景点为“0”. 设当前点为 (x, y) , 它与参考点 $(x+1, y)$ 构成水平边沿元, 与参考点 $(x, y+1)$ 构成垂直边沿元. 假设边界存在于象素之间, 那么当当前点与参考点的值不同时, 两点间存在边界, 这种边沿元称为非零边沿元(如图 3 所示), 其中, V 和 H 分别表示垂直边沿元和水平边沿元, T 和 B 分别表示边沿元的当前点为目标点和背景点.

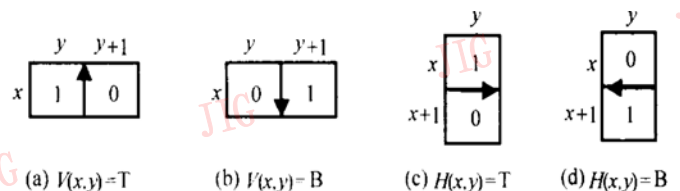


图 3 非零边沿元

在进行边界跟踪之前,要对整幅图象进行边界“0”延拓(如图4所示),以确保边界跟踪在整幅图象范围都可以进行,而不需要再对图象边界点进行特殊处理.边界跟踪方向规定为目标点始终在前进方向的左侧(如图3中箭头所示).这样对于连通区域的外边界,跟踪方向为逆时针,对于其内边界,跟踪方向为顺时针.跟踪过程中,标记打在当前边沿元的目标点上.非零边沿元的下一步跟踪方向由沿当前跟踪方向的后继边沿元决定.

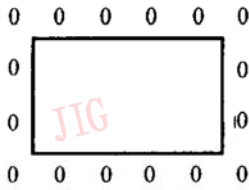


图4 图象边界延拓

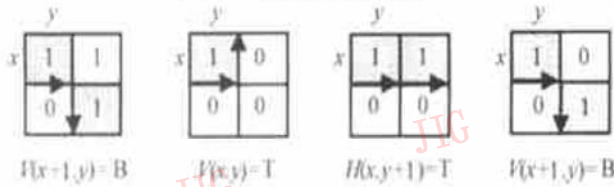
图5给出了每一种非零边沿元后继边沿元的类型及跟踪前进方向,其中,带阴影的为打标记的目标点,以下给出运用边沿元进行边界跟踪排序的步骤:

(1) 图象边界“0”延拓;

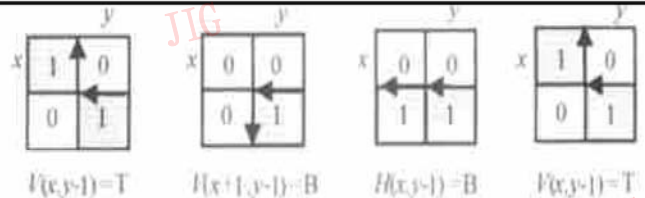
(2) 逐行逐列扫描图象,若出现打过标记的目标点,表示该边界已经被跟踪过了,应继续扫描;

(3) 若扫描过程中没有遇到非零边沿元,应继续扫描;

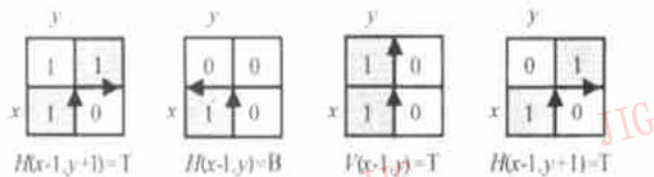
(4) 若扫描过程中出现未打过标记的非零边沿元时,转入边界跟踪,并逐个记下打标记的目标点的坐标值.一条边界跟踪结束的判据是看跟踪是否回到了这条边界的跟踪起始点,若回到起始点时,则给出一个边界结束标志,后即转入扫描,以寻找新的未跟踪边界的起始点.



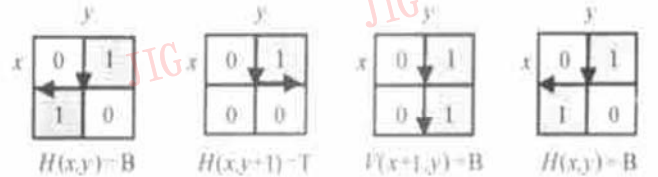
(a) $H(x, y) = T$ 时的后继边沿元



(b) $H(x, y) = B$ 时的后继边沿元



(c) $V(x, y) = T$ 时的后继边沿元



(d) $V(x, y) = B$ 时的后继边沿元

图5 当前边沿元及后继边沿元的跟踪方向

边沿元边界跟踪排序的方法本身是一种快速边缘跟踪算法,本文把它用在 SUSAN 算法提取的初角点上,使得用来参与边界跟踪的像素点数量大大减少,运算速度得到进一步提高.

2.2 角点检测

角点是图象边界变化不连续的点,亦可把它看成是两条或多条近似直线边界的交点.在前述过程中已得到了包括部分边界点的初角点特征图象,只要剔除其中的边界点及虚假角点就是最终所要的角点.

跟踪排序后的边界是单像素的,首先考察其中

$$\cos\alpha = \frac{\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}}{|\mathbf{u}| |\mathbf{v}|} = \frac{(x_{i-3} - x_i)(x_{i+3} - x_i) + (y_{i-3} - y_i)(y_{i+3} - y_i)}{[(x_{i-3} - x_i)^2 + (y_{i-3} - y_i)^2]^{1/2} [(x_{i+3} - x_i)^2 + (y_{i+3} - y_i)^2]^{1/2}} \quad (6)$$

显然,若 $\cos\alpha \geq 0$,说明 α 很尖锐,则 P_i 是角点;当 $\cos\alpha < 0$ 时,给定门限 k ($0 < k < 1$),若 $|\cos\alpha| \leq k$,则 P_i 有可能为角点,需进一步判断.设矢量 $\overrightarrow{P_i P_{i+2}}$ 和 $\overrightarrow{P_i P_{i-2}}$ 之间的夹角为 β ,矢量 $\overrightarrow{P_{i-4} P_{i-2}}$ 和 $\overrightarrow{P_{i-2} P_i}$ 之间的

闭合链环长度小于9的边界.对于链长小于9的单象素边界,其包含的象素不会超过3个,可以判定这些象素点是角点,保留它们其中的1~2个.

对于闭合链环长度大于9的边界,考察排序后连续的初角点 $P_{i-4}(x_{i-4}, y_{i-4}) \dots P_i(x_i, y_i) \dots P_{i+4}(x_{i+4}, y_{i+4})$, \mathbf{u} 和 \mathbf{v} 分别代表矢量 $\overrightarrow{P_{i-3} P_i}$ 和 $\overrightarrow{P_i P_{i+3}}$, 则

$$\begin{aligned} \mathbf{u} &= (x_{i-3} - x_i)\mathbf{i} + (y_{i-3} - y_i)\mathbf{j} \\ \mathbf{v} &= (x_{i+3} - x_i)\mathbf{i} + (y_{i+3} - y_i)\mathbf{j} \end{aligned} \quad (5)$$

\mathbf{u} 和 \mathbf{v} 之间的夹角可由下式确定

夹角为 β_1 , 矢量 $\overrightarrow{P_i P_{i+2}}$ 和 $\overrightarrow{P_{i+2} P_{i+4}}$ 之间的夹角为 β_2 .若 $\cos\beta > 0$ 时,判定 P_i 是角点,否则若 $|\cos\beta| \leq k$,且 β 同时小于 β_1 和 β_2 时,判定 P_i 为角点,否则应剔除掉.

由于图象的量化误差发生在象素的区域内,为

了剔除由于量化所造成的虚假角点, 考察点 P_i 的 8 邻域, 即 $|P_i P_{i+1}| \leq \sqrt{2}$, 这时有两种情况(如图 6 所示), 其中图 6(b) 中的 P_i 是由量化造成. 这里引入 P_{i+2} , 若 $\overrightarrow{P_i P_i}$ 和 $\overrightarrow{P_i P_{i+2}}$ 之间夹角的绝对值小于门限 k , 则 P_i 被认为是角点, 否则应予剔除.

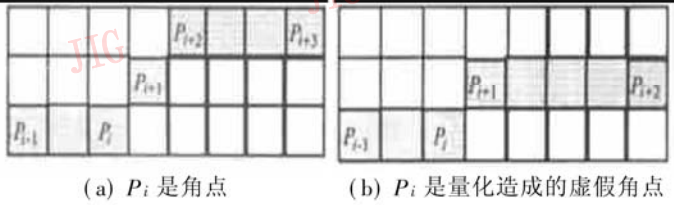


图 6 判断量化造成的虚假角点

3 实验与结论

运用以上算法, 对不同对比度下的图象目标进

行角点提取, 如图 7 所示. 对比强烈的图象(图 7(a)), 图象灰度值的分布范围较广(图 7(b)), 而低对比度图象(图 7(d)), 灰度值分布在一个很小的范围内(图 7(e)). 在 $a=0.2, n=5$ 时, 根据式(4) 计算得到图 7(a) 中 $t=35$, 图 7(d) 中 $t=3$. 可见本文给出的自适应阈值计算方法能够根据图象对比度的高低给出相应 t 值, 对比度越低, 计算出的 t 值越小, 这样就避免了人为干涉造成的不便与误差. 结果显示(图 7(c) 和(f)), 根据不同的图象对比度, 本方法可高质量检测角点, 保证了在低对比度下角点的正确提取. 本方法还可用于复杂图象的角点提取, 亦有较好效果, 如图 8 所示.

本文所提出的多特征复合的角点检测算法, 充分发挥了各图象特征的优点, 克服了仅用单一特征进行检测所带来的弊病. 基于图象灰度的初角点提

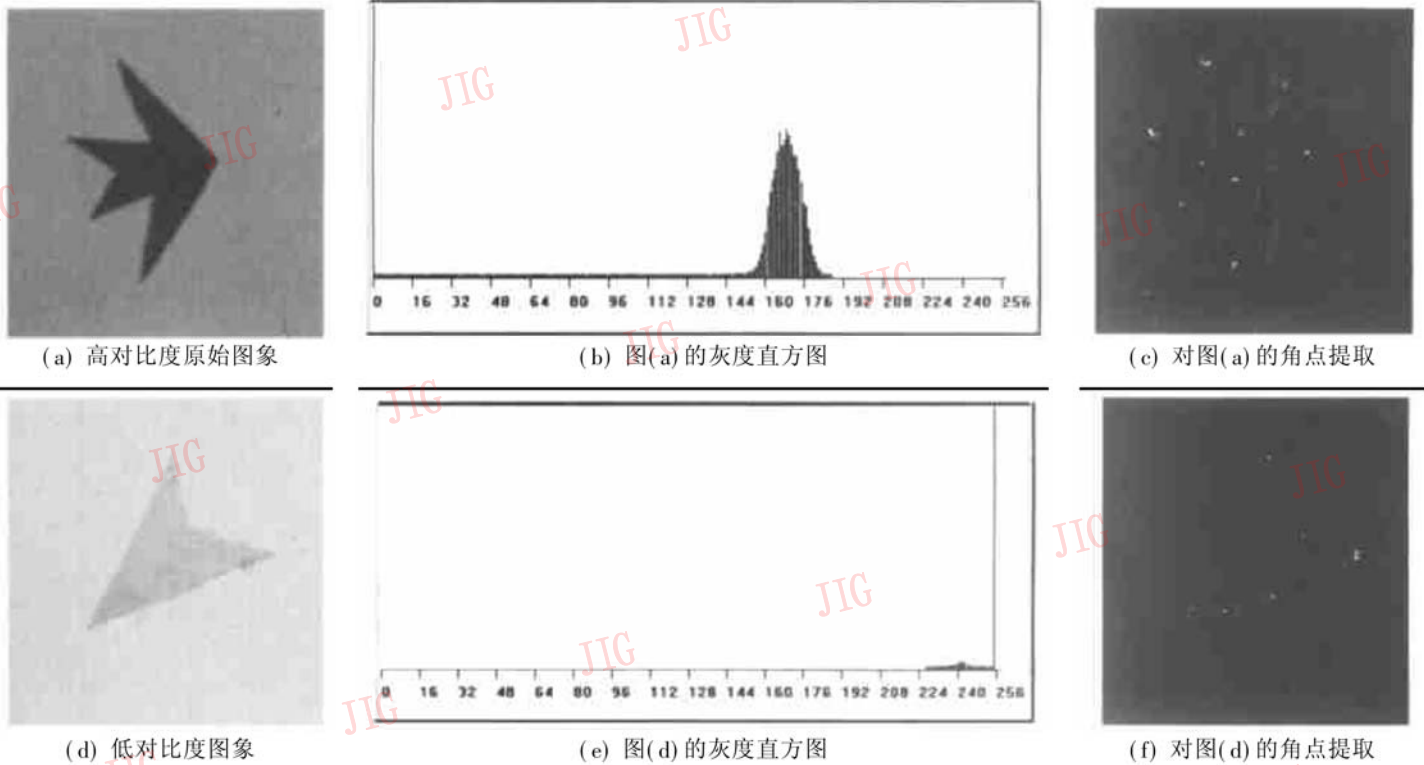


图 7 不同对比度图象的角点提取

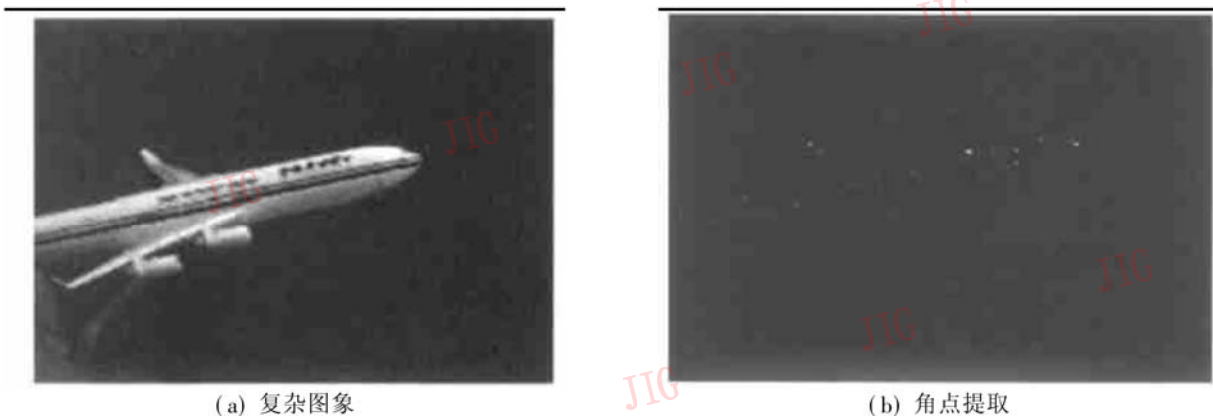


图 8 复杂图象的角点提取

取,避免了梯度计算和对图象分割结果的依赖,同时由于USAN区域的积分效应,使算法能够很好地抑制噪声的影响;在此基础上,边界特征的运用提高了角点的定位精度,因此,这种图象局部灰度特征和目标边界点特征相结合的角度检测方法,具有很强的抗噪能力和较高的检测精度.另外,快速自适应SUSAN算法的引入,使算法在降低运算量的同时,尚能够检测不同对比度下图象的角点.

参 考 文 献

- 1 Smith S M, Brady J M. SUSAN—A new approach to low level image processing [R]. Internal Technical Report TR95SMS1, Defence Research Agency, Chobham Lane, Chertsey, Surrey, UK, 1995.
- 2 Zuniga O A, Haralick R M. Corner detection using the facet model [A]. In: Proc. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition [C], Washington, D. C., 1983: 30~ 37.
- 3 Sheu H T, Hu W C. A rotationally invariant two-phase scheme for corner detection [J]. Pattern cognition, 1996, 29(5): 819~ 828.
- 4 Wu Z Q, Rosenfeld A. Filtered projections as an aid in corner detection [J]. Pattern Recognition, 1983, 16(1): 31~ 38.
- 5 Freeman H, Davis L S. A corner finding algorithm for chain code curves [J]. IEEE Trans. on Computers, 1997, 26: 297~ 303.
- 6 Wang H, Brady M. Real-time corner detection algorithm for motion estimation [J]. Image and Vision Computing, 1995, 13(9): 695~ 703.

- 7 Moravec H P. Towards automatic visual obstacle avoidance [A]. In: Proc. of the International Joint Conference on Artificial Intelligence [C], Cambridge, MA, 1977: 584.
- 8 史册. 对一种快速边缘跟踪算法的讨论 [J]. 小型微型计算机系统 [J], 2000, 12(6): 641~ 645.



张坤华 1973年生,中国科学院光电技术研究所博士研究生. 主要研究方向为模式识别、图象处理和目标跟踪.



王敬儒 1942年生,中国科学院光电技术研究所研究员,博士生导师. 主要研究方向为光电探测、图象处理、目标识别与跟踪等.



张启衡 1950年生,中国科学院光电技术研究所研究员,博士生导师. 主要研究方向为光电探测与信号处理、目标识别、成像跟踪等.