

图像综合特征及其在图像检测与匹配中的应用

翁木云 何明一

(西北工业大学电子信息学院, 陕西省信息获取与处理重点实验室, 西安 710072)

摘要 针对灰度、几何畸变较大的图像匹配困难的问题,提出了一种图像匹配的新方法。该方法在图像预处理时,首先利用SUSAN算法来检测图像目标的边缘,然后利用图像不变矩,并结合形态信息、灰度信息构造的图像综合特征来进行图像匹配,以完成目标的识别与跟踪。由于SUSAN算法检测特征定位准确,对局部噪声不敏感,而且不变矩具有平移、旋转、比例不变的特性,因此可取得较好的检测与匹配效果。实验也表明,该算法既具有较强的抗灰度、抗几何畸变能力,又具有较强的噪声抑制能力。

关键词 SUSAN算法 综合特征 不变矩 目标检测 匹配跟踪

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)01-0121-06

Integrated Feature and Its Application to Image Detection and Matching

WENG Mu-yun, HE Ming-yi

(School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Shanxi Key Laboratory for Information Acquisition and Processing, Xi'an 710072)

Abstract This paper describes a new approach to image matching. Edge detection uses SUSAN (Small Univalued Segment Assimilating Nucleus) method at low level image processing. Integration features matching can complete object recognition and tracking based on invariant moments in combination with configuration and intensity information. Feature detection with SUSAN method locates precisely and is not sensibly for local noise. Seven moments of image have translation invariant, rotation invariant and scale invariant. Simulations also show that the algorithm is efficient for image with intensity variety, geometry aberration and noise.

Keywords SUSAN method, integration features, invariant moments, object detection, matching and tracking

1 引言

所谓图像匹配是指在一幅(或一批)图像中寻找与给定目标图像相似的图像或图像区域(子图像)的过程。通常将已知目标图像称作模板,而将待搜索图像中可能与它对应的子图称作该模板的潜在匹配子图像。由于成像条件的差异、图像预处理引入的误差等各种各样的原因,致使模板图像与潜在的匹配子图像间通常存在着不同程度差异,因此,根据模板从一幅待搜索图像中检测出潜在的匹配对象,并得出它在图像中的位置是一件困难的事情,也就是说,用图像匹配技术来完成目标的识别与跟踪

是一项复杂的工作。通常要求图像匹配的模板 T 与潜在匹配对象 P 间存在下述关系:

$$\begin{pmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} \beta_{1,1} & \beta_{1,2} \\ \beta_{2,1} & \beta_{2,2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中, $(x, y) \in T, (\hat{x}, \hat{y}) \in P, \beta_{i,j}, \alpha_i$ 是常数,“ \approx ”两边的差别可由一个与 (x, y) 及其邻域有关的高阶多项式近似。以上限定表明,模板与潜在匹配子图像间允许存在旋转、位移、缩放、倾斜和可以描述的非线性变形。

匹配算法的选取对图像匹配结果的影响很大,而且实用匹配算法不仅要求计算量少,还必须具有良好的抗噪能力和抗几何变形的能力。为此,人们提出了各种图像匹配算法,其中最常用的一类是基于灰度分

收稿日期:2005-09-06; 改回日期:2005-11-18

第一作者简介:翁木云(1970~),男,副教授。1998年获空军工程大学硕士学位,现为西北工业大学电子信息学院博士生。研究兴趣为图像匹配与跟踪。E-mail:myweng@126.com

布的相关匹配算法,如:归一化灰度相关匹配、最小二乘影像匹配、贝叶斯影像匹配等,其优点是抗噪声能力强,而且在灰度及几何畸变不大的情况下精度较高,其缺点是运算量大、速度慢、抗灰度及几何畸变能力较弱;另一类是基于特征的匹配算法,其中常见的特征有物理特征、边缘、不变矩、局部熵差以及变换域特征等。基于特征的匹配算法虽然抗灰度及几何畸变能力强,但其噪声抑制能力较弱,且主要决定于图像预处理中特征检测与提取的性能。

为此,本文提出了利用图像的灰度信息、形态信息和在变换域的信息,通过构造综合特征来进行匹配,并将其应用于目标识别与跟踪的研究新思路,即在图像预处理时,首先采用基于 SUSAN (small univalue segment assimilating nucleus) 算法^[1]通过检测图像目标的边缘来实现定位与分割,其次利用图像不变矩并结合周长、面积、灰度等特征进行图像匹配,然后利用匹配结果就可以完成目标的识别与跟踪。由于 SUSAN 算法检测特征定位准确,且对局部噪声不敏感,而 Hu 提出的图像 7 个不变矩则具有平移、旋转、比例不变性,因此,本文的综合特征方法既具有较强的抗灰度、抗几何畸变能力,又具有较强的噪声抑制能力。

2 SUSAN 算法

SUSAN 算法是由英国牛津大学的 Smith 和 Brady 首先提出的,它是一种直接利用图像灰度有效地进行边缘、角点检测和滤波等的低层次图像处理算法,它不仅方法简单,能在较强噪声中提取出目标的特征(边缘、角点),而且定位准确,并对局部噪声不敏感。

SUSAN 检测图像特征的方法如图 1 所示,即在图像上移动圆形模板,若模板内的像素与模板中心(核)的像素灰度差值小于一定的门限,则认为该点与中心点是同值(或相似)的灰度,而由满足这样条件的像素组成的区域则称为吸收核同值区(univalue segment assimilating nucleus, USAN)。图像中某一点的 USAN 区大小可由下式表示:

$$n(r_0) = \sum_{r \in M(r_0)} c(r, r_0) \quad (2)$$

式中, $M(r_0)$ 是一个以 r_0 为圆心的模板, r_0 为模板中心像素(核)的位置, r 为模板内其他像素的位置; $c(r, r_0)$ 为模板内的像素是否属于 USAN 区的像素

的判别函数,其定义如下:

$$c(r, r_0) = \begin{cases} 1 & \text{if } |I(r) - I(r_0)| \leq t \\ 0 & \text{if } |I(r) - I(r_0)| > t \end{cases} \quad (3)$$

$I(r_0)$ 是模板中心像素(核)的灰度值, $I(r)$ 为模板内其他任意像素的灰度值, t 是灰度差门限。

在实际处理中,往往采用下面更稳定、更有效的相似比较函数:

$$c(r, r_0) = \exp\left(-\left(\frac{I(r) - I(r_0)}{t}\right)^a\right) \quad (4)$$

建议指数 a 取 6, 因为此时错误的概率最小^[1]。

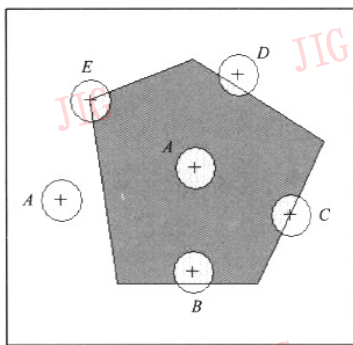


图 1 SUSAN 模板检测图像

Fig. 1 SUSAN template detects image

USAN 区域包含了图像局部区域许多重要的结构信息,而它的大小则反映了图像局部特征的强度。图 1 中,当圆形模板(带 + 字的圆)完全处在背景或目标中时,USAN 区域面积最大(如图 1 中的 A 点);当模板中心移向目标边缘时,USAN 区域逐渐变小(如图 1 中的 B、D 点);当模板中心处于边缘时,USAN 区域较小(如图 1 中的 C 点);当模板中心处于角点时,USAN 区域最小(如图 1 中的 E 点)。如果以在图像每点上的 USAN 区大小作为该处特征的显著性度量,则 USAN 区越小的点特征越显著。该方法不但可一次性快速检测出角点、交点、边缘点,而且无方向性。

在得到每个像素的 USAN 区域后,再由下式产生 USAN 特征图像。

$$R(r_0) = \begin{cases} g - n(r_0) & \text{if } n(r_0) < g \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

g 为几何门限, g 主要影响特征点的尖锐性,一般提取边缘的 g 值要大些,而 g 越小,则所检测到的角点越尖锐。用这种原理,取不同的几何门限,就能检测到角点、交点、边缘等特征。

SUSAN 检测算法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:(1)SUSAN 算法的特征检测原则是需要对图像内部的结构和特征进行前期假设,并避免了梯度计算;(2)由于 USAN 区域是由模板内与模板中心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,因此其对于高斯噪声有很好的抑制作用^[2]。图 2 为用不同方法对红外目标图像进行边缘检测的实验结果。实验结果表明,SUSAN 算法检测边缘不仅具有更好的形状、更好连通性、较强噪声抑制能力,而且花费的时间少。

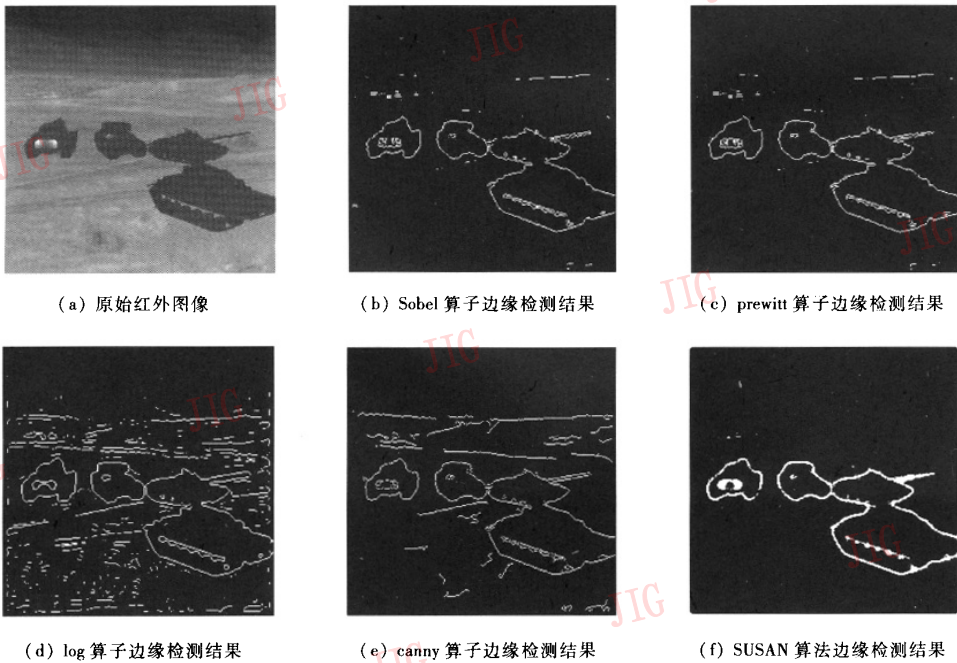


图 2 不同方法对图像进行边缘检测的结果(图 2(a)引自 <http://cis.jhu.edu/Air to Ground ATTR.htm>)

Fig. 2 Experimental results of edge detection with various methods

运用 SUSAN 算法检测特征有以下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特征检测的精度和速度。

(1) t, g 的确定

门限 g 决定了输出特征点的 USAN 区域的最大值,即只要图像中的像素具有比 g 小的 USAN 区域,则该点就被判定为特征点。由于 g 的大小不但决定了可从图像中提取特征点的多寡,而且还决定了所检测到的特征点的尖锐程度,所以一旦确定了所需特征点的尖锐程度,那么 g 就可以取一个固定不变的值。

门限 t 是区分特征目标与背景的一个重要阈值,其表示的是所能检测特征点的最小对比度,也是能忽略的噪声最大容限。它主要决定了能够提取的特征数量,若 t 越小,则可从对比度越低的图像中提取特征,而且提取的特征也越多,因此对于不同对比

度和噪声情况的图像,应取不同的 t 值。 t 的选取要根据图像中目标与背景的对比程度来确定。

(2) 模板形状和尺寸的选取

SUSAN 算法原则上采用圆形模板,其目的是使检测达到各向同性。然而在实际运用中,由于图像的数字量,致使真正的圆形模板无法实现。本文采用的是 $m \times m$ 大小的方形模板,通过实验证明,其检测到的特征点精度虽与采用近似圆形模板检测到的特征点精度相差不大,可是运算速度却有较大提高^[3]。在确定门限 t 和 g 时,模板的大小与能够检测到的特征数量有关,若模板取得越大,则能够检测到的特征点数就越少,换句话说,就是检测到的特征点就越尖锐;另外,若模板取得越大,则运算量越大,这是显而易见的,所以在检测特征点的时候,在满足所要检测质量的条件下,模板不宜取得太大,这样一方面不至于把所需要的特征点漏检,另一方面又能提高运算效率,一般 m 取 4~8pixels 为宜。

3 图像综合特征

3.1 图像不变矩

对于数字图像函数 $f(x, y)$, 如果它分段连续, 且只在 XY 平面上的有限个点不为零, 则可证明它的各阶矩存在。由于区域的矩是用所有属于区域内的点计算出来的, 因而不受噪声影响。 $f(x, y)$ 的 $p+q$ 阶矩定义为

$$m_{p,q} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y) \quad (6)$$

中心矩定义为

$$\mu_{p,q} = \sum_x \sum_y (x - x_c)^p (y - y_c)^q f(x, y) \quad (7)$$

其中, x_c, y_c 为目标的重心坐标

$$x_c = \frac{m_{1,0}}{m_{0,0}}, \quad y_c = \frac{m_{0,1}}{m_{0,0}} \quad (8)$$

定义归一化的中心矩为

$$\tilde{\mu}_{p,q} = \frac{\mu_{p,q}}{\mu_{0,0}^r} \quad (9)$$

其中, $r = \frac{p+q}{2} + 1, p+q = 2, 3, 4, \dots$

由归一化的二阶和三阶中心矩可得到以下 7 个对平移、旋转和尺度变换不变的矩^[4]

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \tilde{\mu}_{2,0} + \tilde{\mu}_{0,2} \\ \varphi_2 &= (\tilde{\mu}_{2,0} - \tilde{\mu}_{0,2})^2 + 4\tilde{\mu}_{1,1}^2 \\ \varphi_3 &= (\tilde{\mu}_{3,0} - 3\tilde{\mu}_{1,2})^2 + (3\tilde{\mu}_{2,1} - \tilde{\mu}_{0,3})^2 \\ \varphi_4 &= (\tilde{\mu}_{3,0} + \tilde{\mu}_{1,2})^2 + (\tilde{\mu}_{2,1} + \tilde{\mu}_{0,3})^2 \\ \varphi_5 &= (\tilde{\mu}_{3,0} - 3\tilde{\mu}_{1,2})(\tilde{\mu}_{3,0} + \tilde{\mu}_{1,2})[(\tilde{\mu}_{3,0} + \tilde{\mu}_{1,2})^2 - \\ &\quad 3(\tilde{\mu}_{2,1} + \tilde{\mu}_{0,3})^2] + (3\tilde{\mu}_{2,1} - \tilde{\mu}_{0,3})(\tilde{\mu}_{2,1} + \tilde{\mu}_{0,3}) \\ &\quad [3(\tilde{\mu}_{3,0} + \tilde{\mu}_{1,2})^2 - (\tilde{\mu}_{2,1} + \tilde{\mu}_{0,3})^2] \\ \varphi_6 &= (\tilde{\mu}_{2,0} - \tilde{\mu}_{0,2})[(\tilde{\mu}_{3,0} + \tilde{\mu}_{1,2})^2 - (\tilde{\mu}_{2,1} + \tilde{\mu}_{0,3})^2] + \\ &\quad 4\tilde{\mu}_{1,1}(\tilde{\mu}_{3,0} + \tilde{\mu}_{1,2})(\tilde{\mu}_{2,1} + \tilde{\mu}_{0,3}) \\ \varphi_7 &= (3\tilde{\mu}_{2,1} - \tilde{\mu}_{0,3})(\tilde{\mu}_{3,0} + \tilde{\mu}_{1,2})[(\tilde{\mu}_{3,0} + \tilde{\mu}_{1,2})^2 - \\ &\quad 3(\tilde{\mu}_{2,1} + \tilde{\mu}_{0,3})^2] + (3\tilde{\mu}_{1,2} - \tilde{\mu}_{0,3})(\tilde{\mu}_{1,2} + \tilde{\mu}_{0,3}) \\ &\quad [3(\tilde{\mu}_{3,0} + \tilde{\mu}_{1,2})^2 - (\tilde{\mu}_{2,1} + \tilde{\mu}_{0,3})^2] \end{aligned} \quad (10)$$

计算模板不变矩 $\varphi_i (i = 1, 2, \dots, 7)$ 和从陌生图像中提取对象的不变矩 $\hat{\varphi}_i (i = 1, 2, \dots, 7)$, 定义归一化函数为

$$f(x) = \begin{cases} x & x \leq 1 \\ \frac{1}{x} & x > 1 \end{cases} \quad (11)$$

适应值函数 $h = \sum_{i=1}^7 f\left(\frac{\hat{\varphi}_i}{\varphi_i}\right) / 7$ 。如果 h 等于 1, 则

说明完全匹配^[5]。

3.2 图像综合特征

用 SUSAN 算法检测后的多边缘, 既包括目标也包括背景及噪声。如果仅考虑利用一种特征来对目标进行匹配, 则有可能会得到几个匹配结果, 因而出现伪目标的概率就较大。

本文提出综合特征的概念及其基于综合特征的匹配策略, 即首先利用形态信息和灰度信息来缩小候选目标范围, 再利用不变矩进行匹配。这一过程, 由于综合了形态信息、灰度信息和矩, 故称为综合特征。

综合特征及基于综合特征的匹配方法和作用描述如下: 在用 SUSAN 算法检测时, 门限 g 要设定稍大一些, 以保证目标边缘的连通性, 这样才能对所有边缘连通的对象进行提取, 但这可能包括目标、背景和大片噪声; 然后, 将提取对象的周长与目标的周长信息进行匹配, 若在一定 (如 0.2) 的误差范围内, 则再匹配其面积信息; 若在一定 (如 0.2) 的误差范围内, 则再匹配其灰度均值信息; 若在一定 (如 0.2) 的误差范围内, 则确定此时的提取对象为候选目标, 但只要其中任何一步超出范围, 就淘汰该提取对象。而利用周长、面积、灰度信息进行粗匹配, 则是为了缩小候选目标范围, 为下一步的不变矩精匹配打好基础, 并提高匹配速度。例如随机噪声经 SUSAN 算法检测就已消除, 小块噪声或背景经过周长信息匹配也淘汰; 而满足周长的一些河流、道路、桥梁的边缘, 在面积匹配时也被淘汰; 对于周长与面积都与目标近似, 但灰度差别较大的其他物体或背景, 在灰度信息匹配时又被淘汰, 那么剩下的就是少量与目标很接近的候选目标。最后再经过不变矩匹配, 即可确定最佳匹配目标。

4 算法实现

(1) 对模板图像 ($m \times n$) 进行旋转和缩放等几何变形, 将得到的几个不同的图像作为多个实验模板图像。

(2) 用 SUSAN 算子按上述原则对模板图像和待搜索图像进行边缘检测。SUSAN 算法检测时的方形模板尺寸为 $(2R+1) \times (2R+1)$, $R=3$ 为 SUSAN 算法检测模板半径。门限 $g = (2R+1)^2/2 + 2R+b$, 其中 b 为常数, 可正可负。在进行边缘检测

时,门限 g 大一些,在进行角点检测时,门限 g 小一些,对于高对比度图像,门限 g 小一些,而对于低对比度图像,则门限 g 大一些,这里取 $b=6$ 。门限 t 对检测的影响要小一些,可主要根据图像的对比值选取,这里取 $t=30$ 。

(3) 对 SUSAN 算法的边缘检测结果进行目标图像提取,可先根据目标图像的面积、周长、灰度等先验知识,确定哪个提取对象为目标(这里假定为单一目标)。由于模板图像太小,且只包含一个目标,基本没有背景噪声,因此 SUSAN 算法的边缘检测结果基本上就是目标图像边缘,这样做的目的只是为了消除可能存在的极个别非目标对象与孤立噪声点。实际检测中可先将检测结果作为目标图像边缘,然后根据式(10)计算模板目标图像的 7 个不变矩。

(4) 在待搜索图像中确定候选目标,即先对待搜索图像的 SUSAN 算法边缘检测结果进行对象提取;然后根据步骤(3)中计算所得到的模板目标图像的周长、面积、灰度等特征信息,将待搜索图像中提取的对象的特征与其进行匹配,其中差值在一定门限范围内的才确定为候选目标,这样即可去掉绝大部分非目标和噪声;最后就可根据式(10)计算每个候选目标图像的 7 个不变矩。

(5) 根据式(10)计算每个候选目标图像的 7 个不变矩,并根据式(11)计算每个候选目标与模板目标的不变矩适应值函数 h ,如果 $1 \geq h \geq 0.96$ 时,则确定该候选目标为匹配目标,而其他候选目标就不用计算及比较了。如果 $0.96 > h \geq 0.5$,则选择适应值函数 h 最大的候选目标为匹配目标对象。如果所有 $h < 0.5$,

则说明找不到匹配对象,要重新进行搜索。

根据以上所获得的匹配对象,就找到了模板图像上的目标,如果模板图像中的目标对象已知,那么就完成了目标识别。如果待搜索图像为序列图像,则还可根据目标运动的方向与速度,通过进一步缩小候选目标的范围来加快匹配速度,以完成目标的跟踪。

5 实验与结论

为了验证算法的可行性,在微机上对多个序列、不同复杂度和对比度情况下的含有一定噪声的图像,采用不同旋转和缩放的模板进行匹配。实验结果表明,利用图像灰度信息、形态信息和不变矩的信息来构造综合特征,其对灰度变化、几何畸变及有一定噪声的图像能有效地完成特征匹配,进而根据匹配结果即可完成目标的识别与跟踪。实验结果如图 3 所示,图 3(a)为几种模板图像,图 3(b)为与图 3(a)对应的模板图像用 SUSAN 算法检测的结果,图 3(c)为待搜索的陌生图像,图 3(d)为陌生图像用 SUSAN 算法检测的结果,图 3(e)为几种模板获得的同样最佳的匹配目标。

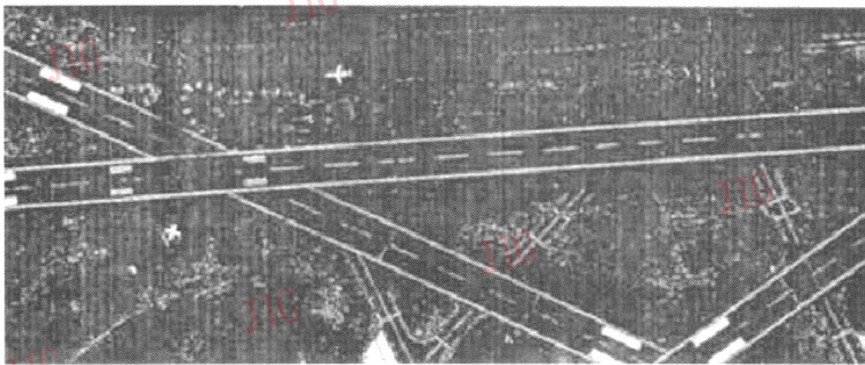
本文提出的基于 SUSAN 算法的检测图像目标边缘的方法,其是利用图像不变矩并结合周长、面积、灰度特征进行特征匹配来完成目标的识别与跟踪。本文方法既利用了 SUSAN 算法检测特征定位准确和对局部噪声不敏感的优点,又利用了不变矩具有平移、旋转、比例不变性的特性。实验结果也表明,本文算法既具有较强的抗灰度及抗几何畸变能



(a)



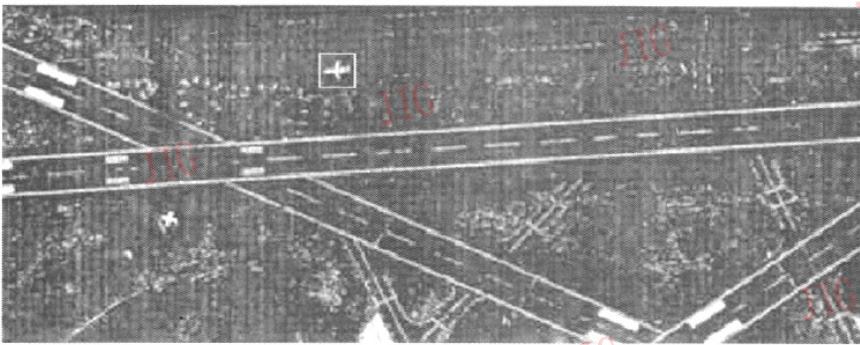
(b)



(c)



(d)



(e)

图 3 SUSAN 检测特征匹配飞机识别(图 3(a)(c) 引自参考文献[5])

Fig.3 Features matching complete plane recognition with SUSAN detection

力,又具有较强的噪声抑制能力。用该方法对序列图像进行目标实时或准实时跟踪时,还需要改进,以提高其处理速度。今后还可进一步研究利用 SUSAN 算法检测的特征(如角点)来进行有遮挡目标的跟踪以及对多目标进行识别与跟踪的问题。

参考文献 (References)

- 1 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.
- 2 Petez M M, Dennis T J. An adaptive implementation of the SUSAN method for image edge and feature detection[A]. In: *Proceedings of International Conference on Image Processing [C]*, Santa Barbara, CA, USA, 1997, 2: 394 ~397.
- 3 Zhang Kun-hua, Wang Jin-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.]
- 4 Zhang Yu-jin. *Image Engineering—Image Processing and Analysis [M]*. Beijing: Tsinghua University Publishing Company, 1999: 240. [章毓晋. 图像工程——图像处理与分析[M]. 北京:清华大学出版社, 1999:240.]
- 5 Tong Zhuo, Li Ting. Image matching with moment invariants based on genetic algorithms[J]. *Computer Engineering and Science*, 2002, 24(3): 14 ~17. [董卓,李霆. 基于遗传算法的图像不变矩匹配[J]. *计算机工程与科学*, 2002, 24(3): 14 ~17.]