

简单背景上目标的自动识别

王绍霖 高广珠 温殿魁 孙即祥

提 要 本文提出了一种在简单背景上的军事目标,主要是飞机和坦克等目标的自动识别方法,在数字处理上分为噪声滤波、目标分割、特征提取、分类识别和偏差值测量等几步。各步都采用简单而有效的算法:用中值滤波去除噪声;用直方图拟合法进行目标分割;用改进的矩不变量表示特征;用最近邻法进行识别;用投影值求目标中心以测量偏差。对各个过程都用实验型图象处理系统进行仿真处理,证明这种方法可以在简单背景(相当于噪声较小情况)下有效地工作。各种算法都比较简单,因此可以用多级微处理机级联来实现。

一、引 言

由于空中飞机和卫星的遥感侦察技术的日益发展,以及智能武器系统的发展,用计算机自动地分析图象,并从中识别不同的军事目标的方法和系统已成为广泛关心的课题。尤其是武器系统中的自动识别要求实时快速具有明显的特点。本文讨论了一种可能的处理和识别方法,采用简单而有效的算法,对目标图象的处理分为三个步骤:滤波预处理、目标分割和特征提取,各自采用了三种简便而有效的算法,即中值滤波、目标分割和矩不变量特征值提取。这几个环节可以分别用逐级串接的处理机来完成,以达到实时、连续地对目标进行识别和跟踪的要求。最后用两种型号的飞机模型进行了实验,在TX-1型数字图象处理系统上进行了分级实验。

二、系 统 构 成

首先用两个例子来说明目标自动识别在武器系统中的应用:

1. 以地面为背景的坦克目标的自动识别与跟踪。

这里介绍一种半自动的目标识别系统原理。假设一个战场战术导弹(地对地或空对地)的配置如图1所示。在敌方阵地上空有一架战场直升飞机或其它引导侦察飞机,摄

下敌方阵地的坦克集群实况图(可以是可见光、红外或微波图)。这个图象通过无线电信道传送到几公里远的我方阵地上的数据处理车上,显示在数据处理系统的荧光屏上。操作员指定荧光屏上的一些目标,计算机按次计算这些目标的中心位置和相应的特征值。这些特征的选取方法是事先约定的。测量所得特征参数矢量值在荧光屏上显示出来如图2(a)所示。如有 n 个目标,其中包括要打的目标,则形成 n 个点的座标和相应的

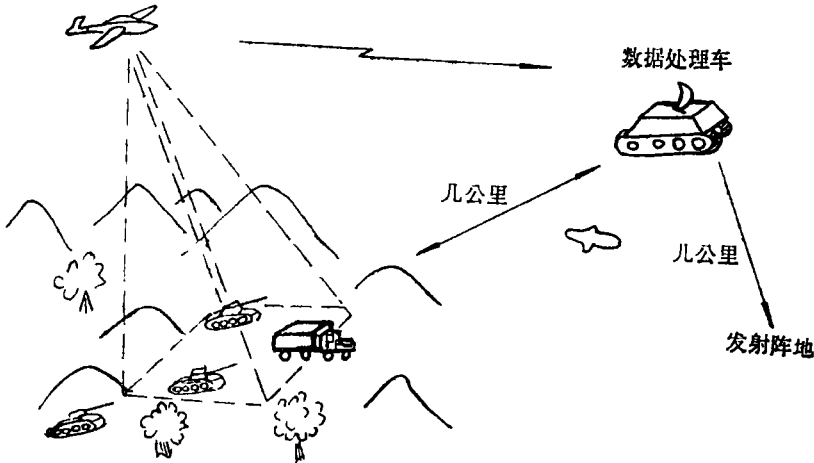


图 1

特征矢量集。在攻击目标的导弹头上装有一个引导头,引导头上装有一个成像装置,它把导弹飞行中对准的目标区的图象记录下来,再用弹上计算装置计算图象中目标的特征矢量,得到如图2(b)的实测目标位置图,然后与弹上所存的数据车上事先得到的图2(a)

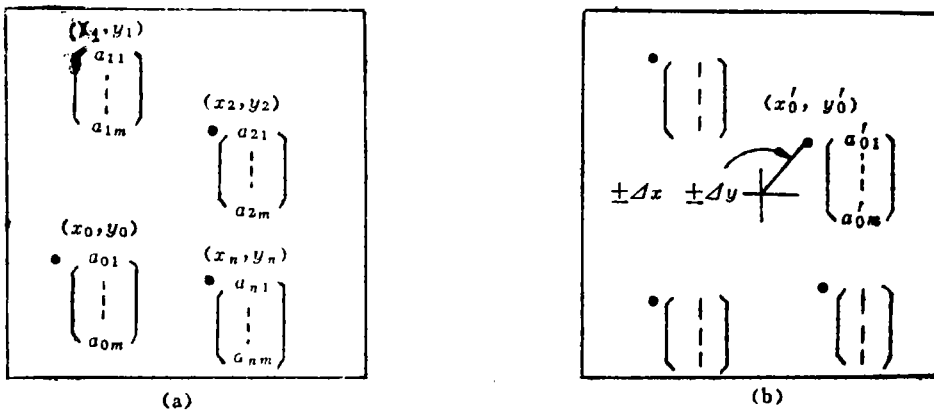


图 2

的数据进行比较,例如图2(b)中的 a'_0 矢量与 a_0 最为相近(指 $\|a'_0 - a_0\|$ 最小),就认为 (x'_0, y'_0) 为当前目标位置。这图2(b)上的十字标志中心就是导弹的瞄准中心,弹上计算装置可以计算出偏差值 $\pm\Delta X$, $\pm\Delta Y$ 。这一偏差值被送到制导系统中去作为修正量控制导弹的飞行方向。

2. 对空目标的识别。

在对空中目标进行识别和跟踪时,用摄像机所取得的飞机目标就是要瞄准的对象。

摄像机安装在地面的跟踪架上，一般与雷达跟踪天线装在同一架子上，如图 3 所示。由

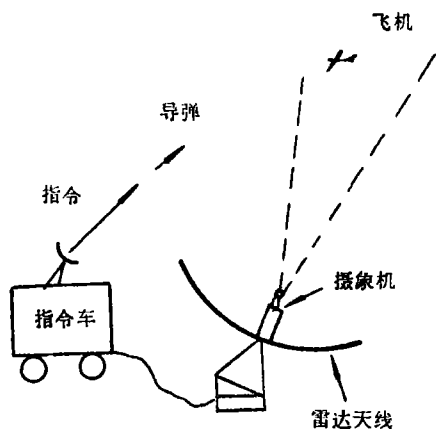


图 3

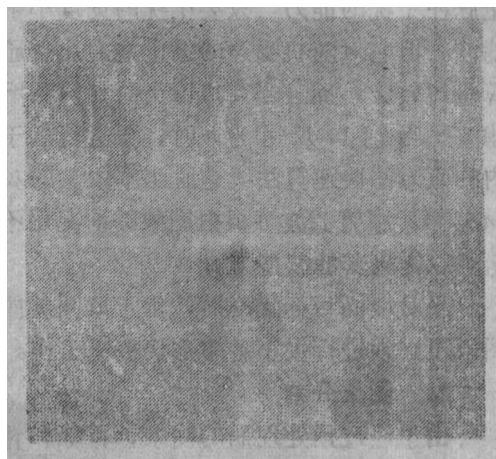


图 4

地面数据处理装置对摄像机所得到的图象进行处理，摄像取得的图象如图 4 所示，处理的内容包括识别机种、计算偏差并向制导系统发出指令，命令它纠正航向飞向目标。

从以上两个简单的例子看，目标识别过程大致分为以下几步。即图象预处理、目标分割、特征提取、分类识别和偏差量计算。图 5 表示处理部分的框图，本文对其中各个环节的处理方法作一些实验性及可实现性研究。

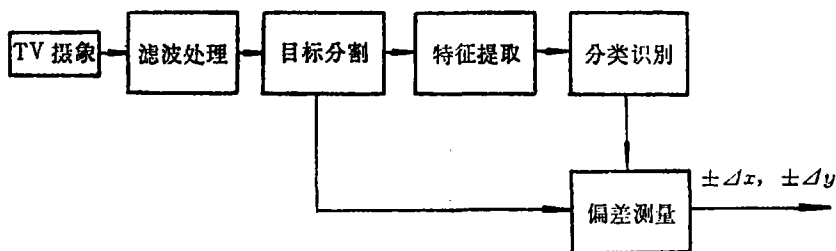


图 5

三、处 理 方 法

1. 图象预处理

一般地讲，从摄像机送来的图象信号是带有噪声的，尤其是在光照较低、信号较弱的情况下，噪声干扰相当严重，为了使目标的分割进行得比较好，必须进行滤波预处理。为了在滤波过程中尽可能地保持正确的目标物体的边缘的位置，采用了非线性中值滤波。中值滤波除了能较好地保持原图象中目标物体的边界信息外，并能对目标体的边界线起平滑作用，即边界线上由于干扰产生的小凹可以填平，小凸可以去除。

中值滤波可以表示为

$$Y_{ij} = \text{Median}_{A_n(i,j)} \{x_{i+r, j+s}\} \quad (1)$$

$x_{i+r, j+s}$ 为以 (i, j) 为中心的窗口 $A_n(i, j)$ 中的象素灰度值。中值滤波有较强的遏止脉冲干扰的能力, 只要干扰的宽度小于 $A_n(i, j)$ 窗口内象素数的一半, 就可以完全地滤波。但它对随机噪声的遏止能力比普通的平滑滤波要差些。中值滤波的主要缺点是计算量比较大, 而且当窗口增大时计算量增大甚快。如采用一般的交换分筛法来实现中值滤波, 当窗口尺寸为 n 时, 要进行近于 $n^2/2$ 次交换。为了加快计算速度可采用窗口内的直方图快速算法。这时当本象素的灰度值与前一象素相差不大时, 交换次数近于 $2n$ 次^[6]。中值滤波可根据图象的情况用不同的窗口大小和形状作多次迭代、多次平均等运算以提高其滤波能力。

当对地面目标瞄准时, 由于取图装置与地平面的夹角的变化图象会产生歪斜, 因此图象还必须进行去歪斜的形状校正工作。

2. 图象分割

由于经过预处理后的图象, 目标和背景在灰度上有比较明显的差别, 所以可以采用简单的门限分割法, 即

$$f(i, j) = \begin{cases} 1, & f(i, j) > T \\ 0, & f(i, j) < T \end{cases} \quad (2)$$

门限 T 的选定采用直方图拟合法^[1]。由于在目标体相对地不太大时直方图上可能没有较明显的双峰特性, 用拟合法可以较好地解决这一问题。下面简单介绍此算法。

这种确定门限的算法要求目标和背景之间有一定的灰度差别, 而且要求知道目标的大致位置。这后一条件在对目标进行跟踪识别的情况下是完全可以满足的。在实行这个算法时, 首先要设置一个取景窗口 W , 使 W 内包含目标 O ; 另设一窗口 B , B 内不包含目标 O , 这两个窗口可以有各种不同的取法, 如图 6(a)、(b)、(c) 所示。然后求背景区 B 的直方图 $h_B(f)$ 。设目标的直方图为 $h_O(f)$, 则 W 区的直方图 $h_W(f)$ 可表示为

$$h_W(f) = P_0 h_O(f) + (1 - P_0) h_B(f) \quad (3)$$

式中 P_0 为目标象素在 W 区中出现的概率, 其值可用 W 区中目标物体所占象素数与 W 区中总象素数之比来近似。

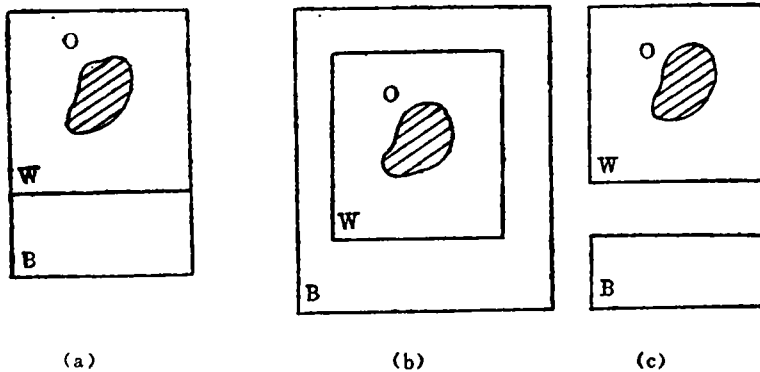


图 6

确定门限值 T 的算法如下: 先求出直方图 $h_W(f)$ 和 $h_B(f)$, 假设目标灰度值大于背景灰度值 (也可反向假设)。按灰度 f 值由大而小地一个个地依次使它的象素值为零。每一次都计算差值

$$D = \sum_f |h_B(f) - h(f)| \quad (4)$$

$h(f)$ 为在 $h_w(f)$ 中去除高灰度值象素后的直方图, 求和的灰度从最小到未去除的最高灰度值。在逐次去除较高灰度象素时, 随着 P_0 的逐渐减小, D 也逐渐减小。但当目标象素已基本去尽后 D 又重新增加。把 D 由减小转为增加的转向点的灰度值作为门限值 T 。算法可表述如下, 设灰度 $I=0, 1, \dots, 127$ 共 128 级。 $H(I)$ 为灰度 I 的象素数。

第一步 令 $K=1$

$$\text{求 } S_1 = \sum_{I=0}^{126} H(I) \quad h_1(I) = \frac{H(I)}{S_1}$$

第二步 求 $D_1 = \sum_{I=0}^{126} |h_B(I) - h_1(I)|$

第三步 令 $K=K+1$

$$\text{求 } S_K = S_{K-1} - H(127 - K + 1)$$

$$h_K(I) = \frac{H(I)}{S_K}$$

第四步 求 $D_K = \sum_{I=0}^{127-K} |h_B(I) - h_K(I)|$

第五步 若 $D_K \leq D_{K-1}$ 返回第三步

若 $D_K > D_{K-1}$ 停, 并令 $T = 127 - K$

3. 目标特征的提取

目标特征选用分割后的二值图的矩不变量, 设图象 $f(x, y)$ 它只包含一个目标物体, 其 $(p+q)$ 阶矩可定义为

$$m_{pq} = \iint x^p y^q f(x, y) dx dy \quad (5)$$

中心矩为

$$\mu_{pq} = \iint (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) dx dy \quad (6)$$

式中

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}; \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

我们把物体在三維空间的活动表现在成象平面上的投影的变化用三个矩阵变换来表示, 它们是

(1) 非均匀放大变换 T_1

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad a, b \neq 0 \quad (7a)$$

(2) 剪切变换 T_2

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'' \\ y'' \end{bmatrix} \quad c \text{ 为实数} \quad (7b)$$

(3) 平面旋转变换 T_3

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \nu & -\sin \nu \\ \sin \nu & \cos \nu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x''' \\ y''' \end{bmatrix} \quad (7c)$$

式中 ν 为目标物体在垂直于视线的平面内的旋转角, α 为目标在空间的方位旋转角, β 为目标在空间的俯仰旋转角 (相对于视线的), 而

$$a = s/\cos \beta \quad b = s/\cos \alpha \quad c = -\frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos \alpha}$$

由于这些变换关系, 我们从所得到的图象 $f(x''', y''')$ 的各阶矩 m''_{pq} 计算得出相当于 T_3 变换后图象 $f(x'', y'')$ 的各矩 m''_{pq} 和 m'_{pq} . 而不必对图象进行(7)式的变换, 由矩的定义(5)式和变换关系(7c)式, 有

$$\begin{aligned} m''_{pq} &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x''^p y''^q f(x'', y'') dx'' dy'' \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x''' \cos \nu - y''' \sin \nu)^p (x''' \sin \nu + y''' \cos \nu)^q f(x''', y''') dx''' dy''' \end{aligned}$$

令 $A = \sin \nu$, $B = \cos \nu$ 可以得出四阶以下的 m''_{pq} 的公式

$$\begin{aligned} m''_{00} &= m''_{00} & m''_{10} &= m''_{01} = 0 \\ m''_{20} &= B^2 m''_{20} + A^2 m''_{02} - 2AB m''_{11} \\ m''_{11} &= AB(m''_{20} - m''_{02}) + (B^2 - A^2) m''_{11} \\ m''_{02} &= A^2 m''_{20} + B^2 m''_{02} + 2AB m''_{11} \\ m''_{30} &= B^2 m''_{30} - 3AB^2 m''_{21} + 3A^2 B m''_{12} - A^3 m''_{03} \\ m''_{21} &= AB^2 m''_{30} + A(A^2 - 2B^2) m''_{12} + B(B^2 - 2A^2) m''_{21} + A^2 B m''_{03} \\ m''_{12} &= A^2 B m''_{30} + A(1 + B^2) m''_{21} + B(1 + A^2) m''_{12} + AB^2 m''_{03} \\ m''_{03} &= A^3 m''_{30} + 3A^2 B m''_{21} + 3AB^2 m''_{12} + B^3 m''_{03} \\ m''_{40} &= B^4 m''_{40} - 4AB^3 m''_{31} + 6A^2 B^2 m''_{22} - 4A^3 B m''_{13} + A^4 m''_{04} \\ m''_{31} &= AB^3 m''_{40} + B^2(B^2 - 3A^2) m''_{31} + 3AB(A^2 - B^2) m''_{22} + A^2(3B^2 - A^2) m''_{13} \\ &\quad - A^3 B m''_{04} \\ m''_{22} &= A^2 B^2 (m''_{40} + m''_{04}) + 2AB(B^2 - A^2) (m''_{31} - m''_{13}) + (A^4 - 4A^2 B^2 + B^4) m''_{22} \\ m''_{13} &= A^3 B m''_{40} + A^2(3B^2 - A^2) m''_{31} + 3AB(B^2 - A^2) m''_{22} + B^2(B^2 - 3A^2) m''_{13} \\ &\quad - AB^3 m''_{04} \\ m''_{04} &= A^4 m''_{40} + 4A^3 B m''_{31} + 6A^2 B^2 m''_{22} + 4AB^3 m''_{13} + B^4 m''_{04} \end{aligned} \quad (8)$$

由计算所得 m''_{pq} 再根据(76)式计算可得

$$\begin{aligned} m'_{00} &= m''_{00} \\ m'_{pq} &= \frac{1}{m''_{00}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x'^p y'^q f(x', y') dx' dy' \\ &= \frac{1}{m''_{00}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x'' + y'')^p y''^q f(x'', y'') dx'' dy'' \\ &= \frac{1}{m''_{00}} \sum_{i=0}^p \binom{p}{i} C^i m''_{p-i, q+i} \end{aligned} \quad (9)$$

这里有四阶以下的矩共 15 个, 它们是 m'_{00} , m'_{10} , m'_{01} , m'_{20} , m'_{02} , m'_{11} , m'_{30} , m'_{03} , m'_{12} , m'_{21} , m'_{40} , m'_{04} , m'_{13} , m'_{31} , m'_{22} . 用以上这些量可计算四个矩不变量

$$I_{pq} = \frac{m'_{pq}}{(m'_{20})^{\frac{q}{2}} (m'_{02})^{\frac{q}{2}}} \quad (p+q=3, 4) \quad (10)$$

用以上这些算式来计算三维空间中物体在各种不同姿态下的投影图象的矩不变量, 要知道两个参数, 那就是 ν 和 c . 在一般情况下这是比较困难的. 现在如果我们考虑被识别的目标是飞机, 而飞机是近于扁平体的轴对称的物体, 而且它的运动方向又是容易快速变化的. 这时的 ν 和 c 是可以估算出来的.

由于飞机的飞行方向不易急剧地变化, 因此 ν 角可用下式计算

$$\nu = \text{tg}^{-1} \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} \quad (11)$$

式中 (x_0, y_0) 为当前的目标中心的座标, (x_1, y_1) 为前一次取图时的目标中心的座标.

又由于目标物体是平板形的、轴对称的, 当把座标原点移至目标物体中心, 并把对称轴与 x 轴重合后得

$$f(x, y) = f(x, -y)$$

因此, $m_{11} = 0$, 系数 c 可按下列法求得, 由于

$$m_{20} = \iint x^2 f(x, y) dx dy$$

用 $x = x' + cy'$ 和 $y = y'$ 代入后得

$$m_{20} = m'_{20} + 2cm'_{11} + c^2 m'_{02}$$

当一个轴对称物体的对称轴与 x 轴方向一致时 m_{20} 为最小, 因此, $\frac{\partial m_{20}}{\partial c} = 0$, 可求得 m_{20} 最小时的 c 值, 它是

$$c = - \frac{m'_{11}}{m'_{02}} \quad (12)$$

由于飞机不完全是平板形的, 尤其是尾舵部分. 而且非对称放大变换(7a)式中的 a 和 b 参数都无法求得. 因此(10)式求得的九个矩的量并不是完全不变的, 而是随着 c 而变化的, c 是 α, β 角的函数. 因此可把 α, β 角划分为若干个 $\Delta\alpha, \Delta\beta$ 角取其模型样板, 作为模式样本类. 在这里可取 $\Delta\alpha = \Delta\beta = 15^\circ$. 因此对每一种类型的飞机要有 $6 \times 6 = 36$ 个模式样本集, 这个数称为 N , 如有 m 个类型的飞机, 则要有 Nm 个特性矢量集.

4. 最近邻分类识别

令某一个类 $\omega_i (i=1, \dots, m)$ 中的样本 $N_j (j=1, \dots, N)$ 的特征矢量为 \bar{X}_{ij} , 而某个实测目标的特征矢量为 $\bar{X} (\bar{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_t\})'$. 它们之间的欧氏距离为

$$d_{ij} = [(\bar{X} - \bar{X}_{ij})^T (\bar{X} - \bar{X}_{ij})]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

这一目标 X 分到哪一类的分类准则采用最小距离准则即取

$$d_{min} = \min\{d_{ij}\} \quad i=1, \dots, m; j=1, \dots, N \quad (14)$$

为了减小误判率可设一门限 T , 如

$$d_{min} \leq T \quad \bar{X} \in \omega_i \text{ 类}$$

$$d_{\min} > T \quad \text{拒斥}$$

5. 目标位置偏差值的计算

为了要对目标进行跟踪必须测出目标中心的位置 (x_0, y_0) ，并计算它和瞄准中心 (x_0, y_0) 之间的距离差 Δx ， Δy 。在进行分割以后的二值图上，求 x 和 y 方向的投影 $P_y(x)$ ， $P_x(y)$ 。

$$\left. \begin{aligned} P_y(x) &= \int f(x, y) dy \\ P_x(y) &= \int f(x, y) dx \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

然后求两个投影值 $P_y(x)$ 和 $P_x(y)$ 的质量中心，得

$$x_0 = \frac{\int x P_y(x) dx}{\int P_y(x) dx}; \quad y_0 = \frac{\int y P_x(y) dy}{\int P_x(y) dy} \quad (16)$$

(x_0, y_0) 即目标中心的座标，瞄准中心 (x_0, y_0) 是已知的，一般就是参考座标的原点，因此得

$$\Delta x = x_0 - x_0; \quad \Delta y = y_0 - y_0$$

这种中心提取法计算简单并具有一定的抗干扰能力。

四、仿真实验数据

在 TX-1 型数字图象处理系统上用两种不同型号的飞机模型按各种不同的 α 、 β 角进行取图， α ， β 每隔 15° 取样，并在图上加上伪随机噪声干扰，经过滤波、分割后计算 15 个矩，把这 15 个矩进行变换运算后提取 9 个矩不变量，作为特征矢量，进行最近邻分类，当信噪比为 $SNR=1.68$ 以上时，正确识别率达 100%，当 $SNR=1.2$ 时，正确识别率下降到 75%。用这个方法时由于对 15 个矩进行了变换运算所以每一类的样本模式数 N 大为减少。用一般的矩不变量法时，如 Dudani[4] 每隔 5° (α ， β 角) 取一个模式样本，用了本文的方法后可每隔 15° 取一样本模式。这就使总的样本模式数下降了一个数量级。这样就使矩不变量法有可能用于三维空间目标的实时识别问题中。

当然，这个方法当前还存在一些问题，特别是当 α ， β 角太大时（例如大于 75° ），由于目标图象与原图象相比失真过大，使分类识别发生困难。这种情况发生在面对目标正面或尾部取图的情况。这是空中目标识别的难点，但在地对空的情况下这种情况出现的机会很少。

由于这里各算法是分级进行的，而每级的计算都比较简单，因此这一识别方案可用多级微处理机来实现。

参 考 文 献

- [1] 孙即祥，王绍霖，利用直方图确定区域分割门限的一种新算法，国防科技大学论文，84—4006。

- [2] 王绍霖等, TX—1型数字图象处理系统, 国防科大卅年校庆学术报告会论文集, P. 170—184.
- [3] 高广珠, 运动飞机的一种特征提取方法, 国防科大四系硕士论文, 1984.
- [4] S. A. Dudani etc., Aircraft Identification by Moment Invariants, IEEE Trans. on Compufor Vol. C—26 No. 1 Jan. 1977.
- [5] E. Ataman, V. K. Aatre, K. M. Wong, A Fast Method for Real-time Mediam Filtering, IEEE Trans. on ASSP No. 4 Aug. 1980 P. 415.

Automatic Recognition of Objects on Simplified Background

Wang Shaolin etc.

Abstract

An Automatic Recognition Procedure is provided to recognize military objects on simplified background, such as aeroplanes and tanks, etc. There are several steps in the digital processing procedure, they are noise filtering, object segmentation, feature extraction, classification and displacement measuring. Simple and effective algorithms are used in each step. They are median filtering for noise cleaning, histogram fitting algorithm for object segmentation, advanced moment invariant for feature extraction, nearest neighbor rule for object recognition and projection center measuring for displacement measurement of the object center. Simulation is applied to each procedure through an experimental image processing system and this method is proved to work effectively on simplified background, ie. low noise condition. Since all the algorithms are simple, the system may be accomplished with multi micro-processor cascade.