

# 用于 3-D 物体分类的广义判别函数\*

申金媛 常胜江 贾 佳 张延焯 母国光

(南开大学现代光学研究所国家教委光学信息技术科学开放研究实验室 天津 300071)

**提要** 提出一种可实现 3-D 物体分类的广义判别函数, 模拟表明利用 RBF 函数(RBF: Radial Basis Function)组成的广义判别函数对于 3-D 目标的识别是很有效的, 此方法简单, 训练时间短, 当识别系统采用并行处理数据时, 不论是训练时间还是识别时间都很短, 并提出一个利用此广义判别函数分类多个 3-D 物体的光电混合系统。

**关键词** RBF 函数, 广义判别函数, 模式识别, 旋转不变

## 1 引 言

所谓模式识别是对所研究的对象根据其共同特征和属性进行识别和分类的科学。多目标旋转不变分类识别是模式识别中最常遇到的问题之一。由于所解决的问题需要处理大量的信息, 因而基于冯·诺依曼原理的传统计算机存在瓶颈问题而无法快速完成这样的任务。

电子对抗已成为当代军事的一大特征, 其中识别对方武器进攻具有首要意义。不能快速识别敌人的进攻, 就谈不上采取行动反击。从这个意义上讲, 识别系统是现代军事的智能眼睛, 建立一套可以应付任意方位任意姿态飞来的飞机识别系统有很重要的价值和意义。因此研究对 3-D 物体的分类识别是必要的, 也是有意义的。

3-D 物体分类识别在军事预警、工业产品检测等方面具有广泛的应用前景, 引起了人们浓厚的研究兴趣。近年来, 很多方法如综合鉴别函数(SDF)<sup>[1]</sup>、栓锁滤波器(LAT)<sup>[2]</sup>、串码滤波器(SCF)<sup>[3]</sup>、梅林变换<sup>[4]</sup>、级联模型<sup>[5]</sup>都被提出来用于多目标旋转不变分类, 这些方法不同程度地存在诸如灰度阶过多不宜光学实现、算法复杂、存储容量小、容错力差、耗时长等缺点, 由于处理过程中信息大, 数据多, 因而用计算机实现不能满足现实中实时快速的要求。

3-D 物体可以用一些 2-D 投影模式来表征, 即 3-D 物体的识别(空间旋转)可以转变为不同面的面内旋转, 如果将同一目标的不同空间旋转模式作为一类模式, 则多目标的旋转不变分类就变为模式聚类问题。因此只要寻找一个合适的判别函数, 实现旋转不变模式识别。本文以 RBF 函数<sup>[6]</sup>作为广义判别函数, 实现旋转不变模式识别。计算机模拟表明对于多个 3-D 物体的分类, 这是一个很好的方法, 本文还给出了实现此模型的光电混合系统。

## 2 用 RBF 函数构造广义判别函数

\* 国家自然科学基金(No. 69877005)、天津市 21 世纪青年基金及天津市高教局资助项目。

收稿日期: 1997-11-05; 收到修改稿日期: 1998-03-02

### 2.1 RBF 数学分析

用于模式分类识别的 RBF 函数是一种径向对称函数, RBF 函数的权值系数可以通过一些已知的样本简单确定, 一般不需要很长的学习训练时间。对于大信息的模式分类识别, 可显著降低学习时间。在  $n$  维超平面中, 本文采用高斯函数作为一种 RBF 函数基元, 数学描述如下: 在  $n$  维空间  $R_n$  中一套训练集  $x = \{x_i \sim f(x_i), i = 1, 2, \dots, I\}$  构成了  $I$  个点  $\{X_i | X_i \in R_n\}$ , 则定义 RBF 算子为

$$f(w, x) = \sum_{i=1}^I w_j \exp(-|x - t^i|^2 / \sigma_i^2) \tag{1}$$

其中  $w_j$  为权值系数,  $t^i$  为中心样本,  $\sigma_i$  为间距,  $x$  为任意输入模式, 间距

$$\sigma_i = r\rho_i = r \min(|t^i - t^{i+1}|, |t^i - t^{i-1}|) \tag{2}$$

其中,  $\rho_i = \min(|t^i - t^{i+1}|, |t^i - t^{i-1}|)$ ,  $|t^i - t^j|$  为欧氏距离

$$|t^i - t^j| = \sqrt{\sum_{n=1}^N (t_n^i - t_n^j)^2} \tag{3}$$

$r$  为调整系数。当输入模式  $x$  与中心样本  $t^i$  相似时, 函数  $f(w, x)$  具有较大的值, 否则,  $f(w, x)$  值较小, 因此, 可以根据  $f(w, x)$  的值对输入模式  $x$  进行分类。

### 2.2 RBF 函数的形象解释及几何意义

为形象起见, 我们用二维及三维空间图来说明方程(2)的意义。图 1 表示样本中心  $t^i$ , 中心距离  $\sigma_i$ , 欲识别的矢量  $x$  及  $x - t^i$ 。显然如果中心样本  $t^i$  选得合适, 中心样本数目  $I$  适当, 则在以  $t^i$  为中心, 以  $\sigma_i$  为半径区域内可以包括多个目标的任一旋转矢量  $x$ 。设一个待识别的旋转模式  $x$  与某一中心  $t^i$  具有最小距离, 此最小距离小于  $\sigma_i$ , 根据中心样本  $t^i$  的类型就可以判别待识别模式的类型。图 2 是在三维空间表示 RBF 函数单元  $y_i = \exp(-|x - t^i|^2 / \sigma_i^2)$ , 若以  $t^i$  为中心原点, 则  $y_i$  可以看作为一个包络线为高斯函数的锥体。显然若  $|x - t^i| < \sigma_i$ , 则矢量  $x - t^i$  就落在了以  $t^i$  为中心,  $\sigma_i$  为半径的圆内, 经  $e$  指数运算后,  $y_i$  落在大于  $1/e$  的高斯包络线上。显然, 对于多目标的旋转模式分类识别来讲, 将任意一个旋转模式作为一个输入模式, 则可以根据  $y_i$  在包络线上的位置确定其属于那一类目标。

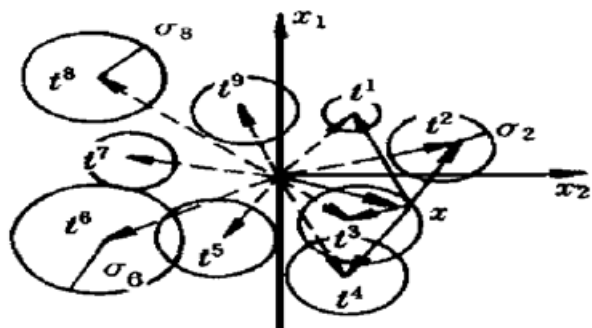


图 1 样本中心及待识别模式结构图

Fig. 1 The diagram shows the relation between the input pattern and the sample centers

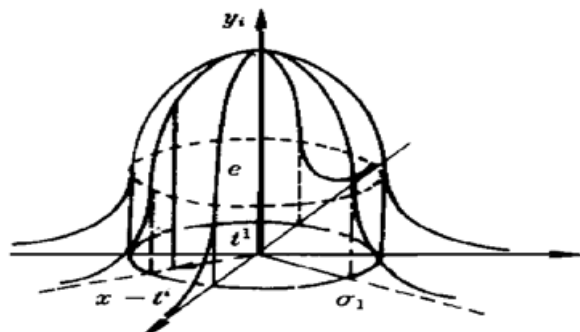


图 2 RBF 函数单元的几何表

Fig. 2 The geometry expression of the RBF function

### 2.3 用 RBF 函数构造的广义判别函数

一个广义判别函数可以表示为

$$d(x) = \sum_{i=1}^l w_i g_i(x) \tag{4}$$

显然选择函数  $g_i(x)$  为高斯函数时, 广义判别函数  $d(x)$  为式(1) 描述的 RBF 函数  $f(w, x)$ 。对于一套给定的训练集  $\{x_i \sim f(x_i), i = 1, 2, \dots, I\}$ , 我们首要的任务是构建函数  $f$  的形式, 包括常矢量(权值系数)  $w$  的确定, 即给定一套训练模式, 找出一个分类器(classifier)  $f$ , 使该分类器能正确分类不同的物体。为易于光电实现, 本文的权值系数  $w$  仅取 1, 0 两个值。

3-D 物体可以表征为多个 2-D 投影模式, 如果将同一物体的不同旋转投影模式作为同一类模式, 则多个 3-D 物体的旋转不变识别问题就变为多个模式类型的分类问题。如果已知多个(设为  $M$  个) 物体的一些旋转模式, 将其作为 RBF 函数的中心样本  $t^i, i = 1, 2, \dots, I$ , 任一旋转模式作为输入模式  $x$ , 则不同物体的 RBF 函数为

$$f_m(w, x) = \sum_{i=1}^l w_{im} \exp(-|x - t^i|^2 / \sigma_i^2) \tag{5}$$

选择合适的中心样本和权值系数  $w_{im}$ , 使得输入第  $m$  类物体的不同旋转模式的 RBF 函数  $f_m(w, x)$  都具有最大的值。这样就可以根据  $f_m(w, x)$  的值判别输入的模式  $x$  是属于哪个物体。因此, 可以利用 RBF 函数进行多个 3-D 物体的旋转不变分类识别。

### 3 计算机模拟物体的旋转不变识别

计算机模拟的程序流程图如图 3 所示。

我们对三种飞机(PB: 轰炸机, PF: 战斗机, PL: 客机) 的面外旋转不变识别(即空间旋转)进行了计算机模拟, 旋转模式及中心样本如下: 在坐标系  $(x, y, z)$  中, 令  $(\alpha, \beta, \gamma)$  分别表示目标  $x, y, z$  轴的旋转角度, 当  $\beta = 0^\circ, \gamma = 0^\circ$  时, 每一目标  $\alpha$  每隔  $10^\circ$  取一投影模式, 三种飞机共 108 个样本, 选其中  $3 \times 6$  个模式作为中心样本( $\alpha$  每隔  $60^\circ$ )。  $\beta = 10^\circ, \gamma = 0^\circ$  时,  $\alpha$  每隔  $10^\circ$  取一投影模式, 共  $3 \times 20$  个, 选其中  $3 \times 4$  个模式作为中心样本( $\alpha$  每隔  $60^\circ$ ),  $\beta = 20^\circ, \gamma = 0^\circ$  时,  $\alpha$  每隔  $20^\circ$  取一投影模式, 共  $3 \times 10$  个, 选其中  $3 \times 2$  个模式作为中心样本( $\alpha$  每隔  $120^\circ$ ),  $\beta = 0^\circ, \gamma = 10^\circ$  时,  $\alpha$  每隔  $20^\circ$  取一投影模式, 共  $3 \times 10$  个, 选其中  $3 \times 6$  个模式作为中心样本( $\alpha$  每隔  $60^\circ$ ); 这样共有投影模式  $3 \times 76 = 228$  个, 而中心样本仅有  $3 \times 18 = 54$  个, 其余均为测试样本, 用来测试模型的学习能力及容错能力。距离  $\sigma_i = r \rho_i, r$  为可调整的系数,  $\rho_i$  为中心  $t^i$  与相邻中心的最小欧几里得距离,  $\rho_i = \min(|t^i - t^{i+1}|, |t^i - t^{i-1}|)$ ; 当  $t^i$  属于第  $m$  类目标时, 权值系数  $w_{im}$  等于 1, 否则等于 0, 即

$$w_{im} = \begin{cases} 1 & t^i \in \Omega_m \\ 0 & t^i \notin \Omega_m \end{cases} \tag{6}$$

输入所有 3-D 空间旋转模式进行模拟, 调整系数  $r$  与正确识别率  $q$  的关系曲线如图 4 所

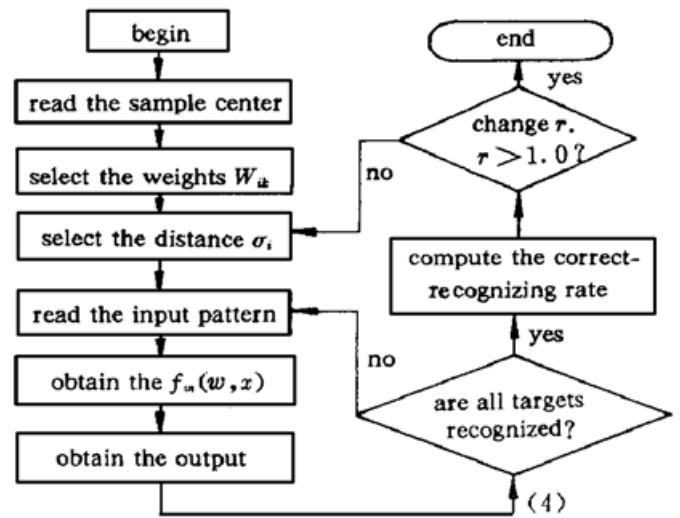


图 3 计算机模拟流程图

Fig. 3 The diagram of the computer simulation program

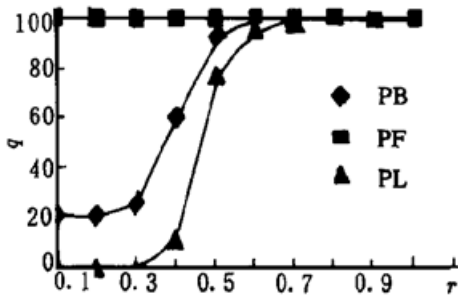


图4 r 与 q 的关系曲线  
Fig. 4 The curve of r-q

示,当  $r > 0.7$  时,正确率达到 100%,即输入所有 228 个旋转模式,利用此广义判别函数都可以给出正确的分类结果。一个 3-D 物体的旋转模式有无数个,这里选取了 76 个模式,仅利用其中 18 模式来得到广义判别函数,其他作为测试模式,识别率就可达到 100%,所以,模型有很好的容错能力,即使输入 228 个旋转模式以外的模式,系统能正确识别的可能性也是很大的,如果出错,可以通过对判别函数的再次训练,得到正确的输出。如果有足够多的样本用来进行测试,则利用上述方法得到的广义判别函数就能够对某些 3-D 物体进行旋转不变识别。通过选取适当的  $r$  和优选模式,

可以减少中心样本数目,因而减少实现系统的程度和困难,提高实现系统的识别率。

### 4 光电实现 RBF 网络

人工神经网络的推广以硬件实现为基础。目前主要有三种途径:

- (1) 虚拟神经网络。即给计算机中的专用软件增加特制的加速板或协处理器。实质上是串行机,是一种现阶段过渡形式。
- (2) 神经网络集成芯片。优点是体积小,速度快,通用可靠。但引线制约了神经元数目。工业上,INTEL 用 0.8  $\mu\text{m}$  互补金属氧化物半导体 (CMOS) 技术制成 64 元。西安电子科技大学的半定制可编程门阵列 (EPGA) 和生物物理所的离散电子元件都是小规模器件。
- (3) 光神经网络。光学技术高并行、空间互连,为实现大规模网络提供可能。但灵活性差,系统的小型、集成不便。目前光电混合实现神经网络被认为是最有前途的方法。

欧氏距离  $|x - t^i|^2$  可以改写为

$$|x - t^i|^2 = x \bar{t}^i + \bar{x} t^i \tag{7}$$

其中  $\bar{t}^i$  表示样本中心  $t^i$  的反模式,  $\bar{x}$  表示输入模式  $x$  的反模式,所谓反模式即是原图像的反片,当  $x_{ij} = 1$  时,  $\bar{x}_{ij} = 0$ ,而当  $x_{ij} = 0$  时,  $\bar{x}_{ij} = 1$ 。因此,不论是正模式还是反模式,其灰度都只有 1, 0 两个,很容易由现有的实时器件或掩膜来实现。改写方程(5) 为

$$f_m(w, x) = \sum_{i=1}^l w_{im} \exp[(x \bar{t}^i + \bar{x} t^i) / \sigma_i^2]$$

据上述方程我们设计了一个光电混合系统实现 RBF 函数。光路图如图 5 所示。

$P_1, P_3$  平面放置实时器件(如液晶阵列) 分别显示正、反输入模式,  $P_2, P_4$  平面放置掩膜或实时器件分别显示反、正中心样本,平面  $P_5$  放置一透镜阵列,这样光透过  $P_1, P_2$  就得到输入模式  $x$  与各反中心样本  $\bar{t}^i$  的乘积,通过  $P_3, P_4$  就得到反输入模式  $\bar{x}$  与各中心样本  $t^i$  的乘积,通过透镜阵列的作用,放置在平面  $P_6$  的探测器阵列就将  $|x - t^i|^2 = x \bar{t}^i + \bar{x} t^i$  光强转换为电信号,然后通过数据采集板的 A/D 转换输入到计算机中,完成  $e$  指数运算及加权求和,由此得到

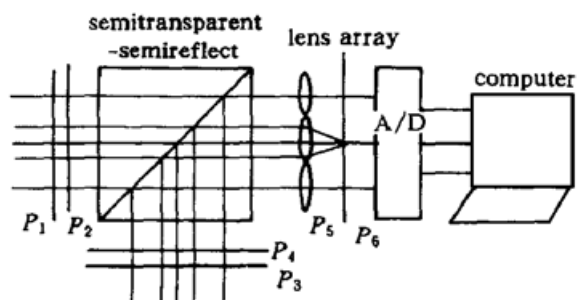


图5 光电混合实现 RBF 网络  
Fig. 5 Optoelectronic system of implementing RBF function

RBF 函数值  $f_m(w, x)$ , 将最大的  $f_m(w, x)$  值选出, 并据此显示分类识别结果。

## 5 结论与展望

计算机模拟表明利用 RBF 函数构造广义判别函数进行 3-D 多目标的旋转不变分类识别是一个很好的方法。作为分类识别的一个模型, 我们可以把它加以推广, 不仅仅将它用于目标旋转不变模式识别, 还可以用于视觉识别的其他方面, 只要它们在抽象元素空间具有一定相似性, 如颜色的分类, 相近颜色在频谱空间是相近的; 语音识别, 相似声音在声域空间等等, 只要我们能够找出描述这些模式的完备系作为训练样本, 就有可能利用 RBF 函数的方法进行识别。可见对于模式识别来讲, 这是一个很有潜力的发展方向。

### 参 考 文 献

- 1 D. Casasent. Unified synthetic discriminant function computational formulation. *Appl. Opt.*, 1984, **23**(10): 1620~1627
- 2 G. F. Schils, D. W. Sweeney. Optical processor for recognition of three dimensional targets viewed from any direction. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1988, **5**(8): 1308~ 1321
- 3 Yin Shizhuo, Cheng Lu, Mu Guoguang. 3-D target recognition by using serial code filters. *Optik*, 1989, **82**(4): 129~131
- 4 D. Casasent, D. Psaltis. Scale invariant optical correlation using mellin transforms. *Opt. Commun.*, 1976, **17**(1): 59~63
- 5 Y. X. Zhang, W. Q. Huang, T. L. Chen *et al.*. A cascaded model of neural networks suitable for optical implementation. *Opt. Comp. and Proc.*, 1992, **2**(1): 3~8
- 6 T. Poggio, S. Edelman. A network that learns to recognize three dimensional objects. *Nature*, 1990, **343**(6255): 263~266

## 3-D Objects Classification Based on the General Discrimination Function

Shen Jinyuan   Chang Shengjiang   Jia Jia   Zhang Yanxin   Mu Guoguang  
(*Institute of Modern Optics, Nankai University,*  
*Optical Information Science Laboratory, SCE, Tianjin 300071*)

**Abstract** A General discrimination function used to classify 3-D objects is proposed in this paper. The computer simulation shows that the general discriminant function which is constructed by RBF function is very effective for classifying 3-D objects. It has not only short learning time but also short classifying time when the information is processed parallelly in the system. An optoelectronics system is proposed to implement this general discrimination function.

**Key words** RBF function, general discriminant function, pattern recognition, rotation invariance