

# Voronoi 图和遗传算法在对象识别中的应用

杨前邦 李介谷

(上海交通大学图像处理与模式识别研究所, 上海, 200030)

TP391.41

**摘要** 从对象识别的角度探讨了 Voronoi 图和遗传算法的应用, 针对不同应用情形重新定义了基于 Voronoi 图与形的相似性度量. 采用遗传算法以加快识别速度, 并将视角和模型参数纳入染色体编码, 实现了快速的类模型匹配的对象检测和识别.

**关键词** Voronoi 图, 形的相似性度量, 遗传算法, 对象识别.

计算机视觉

## 引言

对象识别是计算机视觉的主要任务, 为此人们提出了各种各样的理论和方法. 其中具有代表性的是基于对象边界的特征提取和关系匹配<sup>[3,9]</sup>, 它的局限性在于实际应用中特征提取很困难, 为此提出了利用 Hausdorff 距离比较边缘图像的对象检测和识别方法<sup>[1~3]</sup>. 然而, 我们在实践中发现这种形状相似性度量有时需要改进, 同时认为该方法还有深入应用的可能. 我们首先以 Voronoi 图为背景重新定义形状相似度, 再用遗传算法进行快速搜索, 并将它应用到遮挡和虚幻情形, 进而引入了视角变化和参数模型, 实现了一大类对象在不同姿态下的检测和识别.

## 1 Voronoi 图与形的相似性度量

### 1.1 Voronoi 图与计算几何

Voronoi 图的概念来自计算几何: 设有平面空间点集合  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , 其中  $a_i = (x_i, y_i)$ , 定义函数  $f(x, y) = \min_i |p - a_i|$ , 其中  $p = (x, y)$ , 则称函数  $f(x, y)$  为  $A$  的 Voronoi 图. 对此, 研制成一种快速生成 Voronoi 图的软件算法<sup>[4]</sup>, 也有利用图像硬件资源来快速生成 Voronoi 图的手段<sup>[1]</sup>. 有时, 也将函数  $f(x, y)$  的脊称为  $A$  的 Voronoi 图, 比如用于图像细化抽取骨架时的情形. 图 1(a) 为一平面空间边缘像素点集图像, (c) 为其相应的 Voronoi 图, 这是我们即将定义的形的相似性度量的基础.

### 1.2 Hausdorff 距离与计算几何

Hausdorff 距离也来自计算几何, 用于度量两个平面点集的接近程度, 是一种关于形的相似性度量. 设平面点集  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$ ,  $b_j = (x_j, y_j)$ , 定义函数  $g(x, y) = \min_j |q - b_j|$ , 其中  $q = (x, y)$ , 即  $g(x, y)$  为  $B$  的 Voronoi 图. 这样,  $A$  到  $B$  的 Hausdorff 距离  $d(A, B) = \max_i \{g(x, y) | (x, y) = a_i\}$ ; 同样,  $B$  到  $A$  的 Hausdorff 距离  $d(B, A) = \max_j \{f(x, y) | (x, y) = b_j\}$ ; 定义  $A$  和  $B$  之间的 Hausdorff 距离  $D(A, B) = \max\{d(A, B), d(B, A)\}$ . 显然, 当  $A$

和  $B$  完全一致时,  $D(A, B) = 0$ ; 否则,  $A$  和  $B$  差异越大,  $D(A, B)$  越大. 从而可以认为 Hausdorff 距离的确在一定程度上度量了  $A$  和  $B$  之间, 即两个平面边缘图形之间的相似程度.

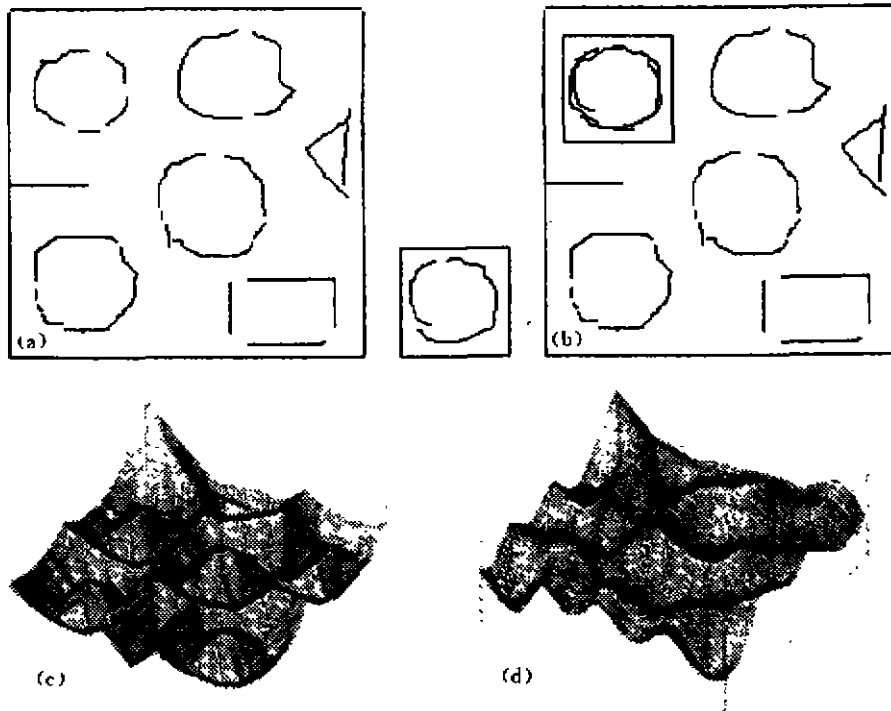


图1 (a) 边缘图像和对象模型, (b) 识别定位结果, (c) 边缘图像的 Voronoi 图, (d) 搜索空间的距离分布三维显示图

Fig. 1 (a) The edge image and the object model, (b) the recognized result, (c) The Voronoi graph of the edge image, (d) the 3-D display of distance over the whole searching space

## 2 基于 Voronoi 图的相似性度量和对象识别

Voronoi 图给出了形状的一种柔性描述, 这就为度量形状与形状之间的相似提供了一条可行途径, Voronoi 图 Hausdorff 距离正是利用了这一点<sup>[1~3]</sup>. 为解决与形状无关的点的影晌, 人们又提出了部分 Hausdorff 距离的概念<sup>[1]</sup>, 在某些应用场合取得了很好的对象识别定位效果<sup>[1~3]</sup>. 然而, 在实践中作者发现“部分”的度不好掌握, 另外, 以“最大”作为形的相似性的度量也似有些不妥. 事实上作者发现了一些失败的例子, 为此, 我们从 Voronoi 图出发, 重新给出了两个关于形的相似性度量的定义, 解决了这两个问题. 其中对单向平均距可能会发生“大象中有老鼠”的现象, 但对双向平均距则基本上不可能发生这种情况.

### 2.1 在 $A$ 中寻找 $B$ 单向平均距

从几何上看很显然: 将  $B$  放到  $A$  的 Voronoi 图上, 假如  $B$  能在某处落到其底部, 则在  $A$  中找到了  $B$ , 部分 Hausdorff 距离的概念是一条衡量“落”的程度的途径<sup>[1]</sup>. 假如任务仅仅是判断在  $A$  中是否含有  $B$  和找出它, 而不管  $A$  中是否还含有多于  $B$  的东西, 则有更好的度量  $A$  中是否含有  $B$  的距离测度, 这就是单向平均距离的概念, 即

$$d_s(B, A) = 1/m \sum_j \{f(x, y) | (x, y) = b_j\}.$$

这是在  $A$  中寻找  $B$  用的单向距, 需要  $A$  的 Voronoi 图. 这么做的依据是: 平均能够通过平滑而减弱  $B$  中有而  $A$  中没有的点的影晌. 它不同于部分 Hausdorff 距离, 不必选择“部分”的比例, 而对部分 Hausdorff 距离, 一旦“部分”选取不当, 则  $B$  中个别点对距离的贡献就会很大. 实验证明, 这样定义是有效的, 而且比较鲁棒. 图 1 是相应的例子. 这里, 假如使用部分 Hausdorff 距离的测度, 而“部分”的比例又选择不合适, 那么, 无论采用单向距还是双向距, 都注定失败. 因为  $A$  中究竟有多少多于  $B$  的点(虚幻对象是一典型)及  $B$  中究竟有多少多于  $A$  的点(遮挡对象是一典型)都不好估计.

## 2.2 在 $A$ 中寻找 $B$ 双向平均距

对于虚幻对象情形, 即  $A$  中有而  $B$  中没有的点的影晌, 这一影晌仅在模型可变化(参数对象)时产生, 需要对上述单向距加入一修正项. 为此, 引入  $d(A, B)$  且将其修改为  $d_s(A, B)$ , 其中,  $A_s$  为相应  $B$  落下处的  $A$  的子集,  $A_s$  和  $B$  的相似度从而定义为

$$d = d_s(B, A) + d_s(A_s, B).$$

图 2 为相应的实验结果.

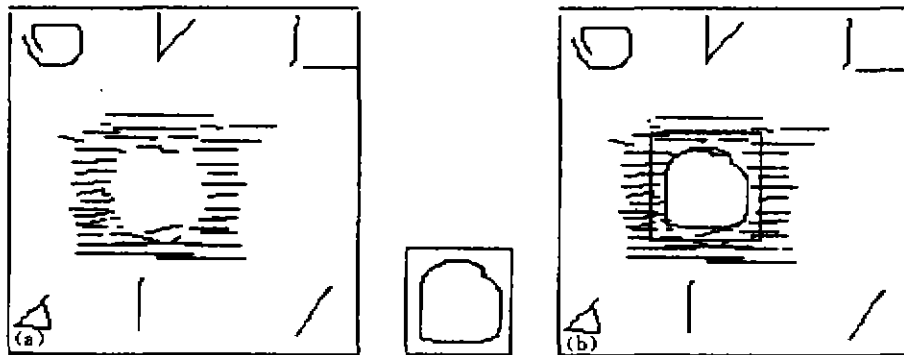


图 2 (a) 边缘图像和对象模型, (b) 识别定义结果  
Fig. 2 (a) The edge image and the object model, (b) the recognized result

## 2.3 对象识别遮挡情形实例

很自然, 我们把基于 Voronoi 图相似性度量的对象识别方法用到了对象被部分遮挡的情形, 这相当于上述  $A$  中有而  $B$  中没有的情形, 同时存在  $B$  中有而  $A$  中没有的可能. 图 3 为相应的实验结果, 图 4 为一个实际图像的例子.

## 3 遗传算法的应用——类对象识别

群体搜索策略和群体中个体之间的信息交换是遗传算法的两大特点, 它采用自然进化机制来表现复杂的现象, 能够快速而可靠地解决非常困难的问题. 这种方法对目标函数的普适性、自身的快速性以及固有的并行性、加上对已有模型的易介入性, 使其得到广泛的应用. 这里, 对遗传算法的应用有两个问题需要解决: 即适应度函数设计和染色体编码. 我们对适应度函数按小距离对应大适应度的原则设计, 对染色体编码则按顺序将搜索空间排列成一

个二进制位串即可。

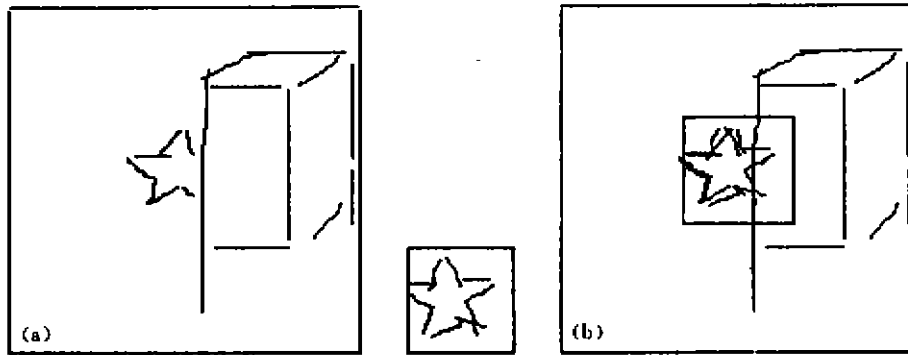


图 3 (a) 边缘图像和对象模型, (b) 识别定位结果

Fig. 3 (a) The edge image and the object model, (b) the recognized result

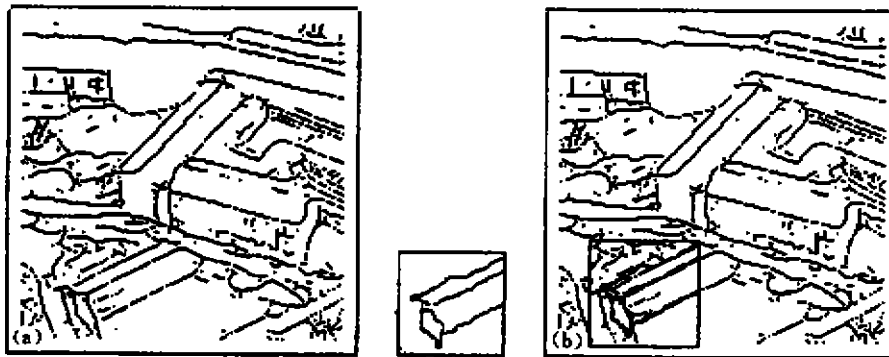


图 4 (a) 边缘图像和对象模型, (b) 识别定位结果

Fig. 4 (a) The edge image and the object model, (b) the recognized result

### 3.1 定位搜索

文献[1~3]给出了源自 Voronoi 图柔性的基于跳步搜索的快速算法和多分辨率方法,其实,用遗传算法<sup>[5~7]</sup>来定位搜索更快更有效,而实际中次优并不要紧.当对象只有一个时,遗传算法更快得多.对多个对象的情形,如类似 Fox holes 函数空间(见图 1)时,遗传算法也能够实现多点寻找.方法之一是找到一个从图像中去掉(抹掉相应边缘)一个;方法之二是在群体进化过程,保留其适应度函数值超过一预定的可接受门限的已优化个体,不让其再参与进化.我们在以上的例子中都曾试验了遗传算法下的对象定位搜索,均获得了很好的结果.其中,将二维定位搜索空间依次编入长度为 16 的染色体二进制串之中,仅取 50 个个体的群体规模,交叉概率取为 0.8,变异概率取为 0.001,在不到 100 代的进化过程途中,就可以得到很好的优化品种.

### 3.2 类对象识别

自然地,视角和模型参数也能够编入染色体码串中,这是可变视角下的类对象识别问

题. 所谓类对象, 是指模型参数在一定范围内变化时, 对象的类别不变. 这里以长方体对象为例(参见图 5), 不难推广到其它复杂对象. 本例中, 视角取两个自由度, 即  $\alpha$  和  $\beta$ , 它们的取值范围均为  $0 \sim 90^\circ$ , 染色体长度均取为 5; 长方体尺寸的变化取长、宽、高 3 个参数, 变化范围均为  $16 \sim 26$ , 染色体长度也均取为 3; 而位置参数、范围和染色体变码则同图 4. 对这一染色体码串长达 35 的情形, 群体规模相应较大(400), 进化的历程也比较长(500), 而结果却是令人鼓舞的, 见图 5.

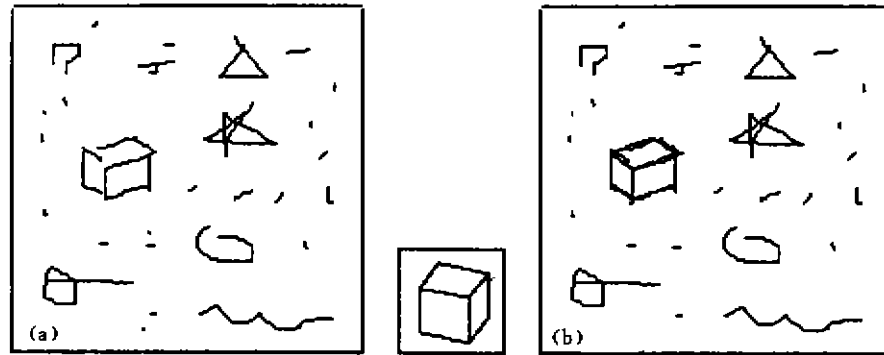


图 5 (a) 边缘图像和对象模型图示, (b) 识别定位结果  
Fig. 5 (a) The edge image and the object model, (b) the recognized result

我们在实验中发现, 遗传算法往往很快地先确定对象在图像中的大体位置, 这就启示我们: 在接下来的进化操作(交叉和变异)中或许应以较大的概率作用于染色体中相应于视角和模型参数码串部分, 而以较小的概率作用于染色体中相应于位置的码串. 这方面还有待于进一步的工作.

#### 4 讨论

形的相似性度量是计算机视觉中的一个重要问题, Voronoi 图对形状的柔性描述为这一度量提供了可能. 但是, 建立在 Voronoi 图柔性上的形的相似性度量的具体定义还值得再研究. 遗传算法这一群体进化优化方法用于识别搜索, 更符合人类视觉搜索过程的并发和随机特征. 本文将 Voronoi 图用于重新定义形的相似性度量, 并用遗传算法解决简单及复杂搜索问题均取得了成功, 从而使得对象的识别检测无需定义和提取中级特征也能实现.

当然, 在如何规定适应度函数和改进用于对象识别进化操作方面, 还有待于进一步的研究工作.

## REFERENCES

- 1 Huttenlocher D P, Klanderman G A, Rucklidge W J. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, 15(9): 850~863
- 2 Huttenlocher D P, Rucklidge W J. *Proc. IEEE Int'l Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1993: 705~706
- 3 Huttenlocher D P, Leventon M E, Rucklidge W J. *Proc. IEEE Int'l Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1994: 842~847
- 4 Paglieroni D W. *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 1992, 54(1): 56~74
- 5 CHEN Guo-Liang, et al. *Genetic Algorithm and its Applications*, Beijing: Postal and Telecom Publishing House (陈国良, 等. 遗传算法及其应用. 北京: 人民邮电出版社), 1996
- 6 Hill A, Taylor C J. *Image and Vision Computing*, 1992, 10(5): 295~300
- 7 Bhattacharjya A K, Roysam B. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 1994, 5(1): 83~95
- 8 LI Jie-Gu. *Theory and Practice of Computer Vision*. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press. (李介谷. 计算机视觉的理论和实践. 上海: 上海交通大学出版社), 1991
- 9 WU Li-De. *Computer Vision*, Shanghai: Fudan University Press. (吴立德, 计算机视觉. 上海: 复旦大学出版社), 1993

## APPLICATION OF VORONOI GRAPH AND GENETIC ALGORITHM IN OBJECT RECOGNITION

YANG Qian-Bang LI Jie-Gu

(Image Processing and Pattern Recognition Institute, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract** The application of Voronoi graph and genetic algorithm in object recognition was investigated. The shape similarity metrics were redefined in some cases of applications. To speed up the searching process for matching, the genetic algorithm was used. Further, the viewing angles and the model parameters were encoded into the chromosome string, and finally the fast generic object recognition and detection were realized.

**Key words** Voronoi graph, shape similarity metrics, genetic algorithm, generic object recognition.