

密度分布特征及其在二值图像检索中的应用

黄春木 周利莉

(解放军信息工程大学信号分析工程系, 郑州 450002)

摘要 图像的形状是描述图像的重要视觉和语义特征, 可通过图像中像素点的区域分布表现出来。为了对二值图像进行有效检索, 提出了一种基于区域的形状特征——密度分布特征, 用来进行二值图像检索。该方法在经过形心定位和子图像区域划分后, 可得到 2 个 M 维特征向量, 其中第 1 个表示各个子图像区域的目标像素的相对密度, 第 2 个表示各个子图像区域的目标像素在极坐标方向上的相对密度的一阶数值差分。在进行相似性度量时, 首先采用 Gaussian 模型对用这 2 个特征向量计算得到的距离分别进行归一化处理; 然后综合两个特征向量的距离计算总的相似度。实验结果表明, 密度分布特征不仅能够有效地刻画二值图像的形状, 具有非常好的平移、尺度和旋转不变性, 而且检索结果优于 Hu 不变矩。

关键词 形状特征 密度分布特征 不变性 二值图像检索

中图法分类号: TP391.3 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)02-0307-05

Density Distribution Feature and its Application in Binary Image Retrieval

HUANG Chunmu, ZHOU Lili

(Information Engineering University, Zhengzhou 450002)

Abstract Shape is a very important visual and semantic feature used to depict image and it can be revealed by image pixels' regional distribution. This paper proposes a region-based shape representation, a new "density distribution feature (DDF)". After shape center orientation and region partition, two M dimensional feature vectors are got. The first feature vector represents the relatively density of object pixels within each sub-image. And the second represents the difference of relatively density in the direction of radial coordinates. When matching the similarity, we first used the Gaussian model to normalize the two dimensional feature vectors. Then we integrated them to calculate similarity distance. The experiments results showed that this shape feature can depict the image well and is invariant to translation, scale and rotation. The paper also evaluated the effectiveness of the proposed descriptor with respect to Moment Invariants.

Keywords shape representation, density distribution feature, invariant performance, binary image retrieval

1 引言

基于形状特征的索引技术的研究目前已在基于内容的图像检索中得到充分重视。目前, 基于形状特征的图像检索大致分为以下两类: 基于图像对象区域的局部形状特征检索和基于全局形状特征的检索。其中前者是指在特征提取阶段, 先提取图像中相关对象的形状区域或边界等的完整描述, 然后利用该区域及其特征进行图像检索, 但该方法要求对

图像进行图像分割操作, 因此其检索规模和应用范围受到一定限制^[1, 2]; 而后者则无须进行图像分割, 可直接利用能反映图像形状的全局特征量来进行图像检索^[3], 其比较适合于大型的通用图像数据库。由于基于区域的形状描述方法利用了边界信息和内部信息, 并且通常不需要知道形状的轮廓, 所以可应用于一般基于形状的图像检索。

本文给出了一种基于区域的形状描述和相似性匹配算法, 并应用于二值图像检索, 且与最常用的一种方法——Hu 不变矩^[4]进行了比较。

收稿日期: 2006-03-29 改回日期: 2006-09-18

第一作者简介: 黄春木 (1981~), 男, 硕士研究生。主要研究方向为数字图像处理、图像检索技术。Email: chummu@163.com

2 密度分布特征

图像的形状是通过像素点分布在空间不同的区域而表现出来的。二值图像中,由于白色像素点(背景点)和黑色像素点(目标点)的交错分布构成了各种各样的目标形状,因此在对二值图像的形状进行描述时,目标像素点的区域分布是很重要的信息。对于两幅图案相似的二值图像来说,由于它们的目标像素点的区域分布也是相似的,而密度分布特征方法的基本思想就是通过统计图像中目标像素点在不同空间区域的分布情况来得到密度分布特征,因此这个形状特征可以用于对二值图像进行分类或检索等。下面介绍密度分布特征的提取技术。

2.1 形心定位和区域划分

一般对于一幅二值图像 $f(x, y)$ 来说,由于目标只占了其中的部分区域(如图 1 所示),因而在计算距离时,形心的选取很重要。一般选取图像的重心点 (\bar{x}, \bar{y}) 作为形心,其中

$$\bar{x} = \frac{\sum_i \sum_j i \times f(i, j)}{\sum_i \sum_j f(i, j)} \quad (1)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_i \sum_j j \times f(i, j)}{\sum_i \sum_j f(i, j)} \quad (2)$$

式中,

$$f(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } (i, j) \in \mathbf{R} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

\mathbf{R} 表示二值图像中的目标像素区域。

在得到形心后,先计算图像中各目标像素点到形心的距离,并找出最大距离 D_{max} ,然后采用圆形划分法对图像进行分块,即首先以形心为圆心,以 D_{max}

为半径作图像中目标区域的外接圆,然后在外接圆内,由内而外,将图像划分为 M 个子图像区域 $\mathbf{R}_1, \dots, \mathbf{R}_M$, 分别为一个中心圆和多个同心圆环。子图像区域的划分方法有以下两种^[5]:

(1) 等距离区域划分法 即每个子图像区域所覆盖的区间长度相等,此时

$$\mathbf{R}_i = \{(x, y) \mid (i-1) \times D_{max} / M < \sqrt{(x-\bar{x})^2 + (y-\bar{y})^2} \leq i \times D_{max} / M, (x, y) \in \mathbf{I}\} \quad (4)$$

式中, $1 \leq i \leq M$ 。

(2) 等面积区域划分法 即每个子图像区域包含的面积是相等的,此时

$$\mathbf{R}_i = \{(x, y) \mid (i-1) \times D_{max}^2 / M < [(x-\bar{x})^2 + (y-\bar{y})^2] \leq i \times D_{max}^2 / M, (x, y) \in \mathbf{I}\} \quad (5)$$

式中, $1 \leq i \leq M$ 。

图 2 给出了一个区域划分的例子,其中,图 2(a) 是一幅二值图像,图 2(b) 给出了等距离区域划分法得到的划分结果,图中每个子图像区域(圆环或中心圆)所覆盖的区间长度(圆环的宽度或圆的半径)相同;图 2(c) 给出了等面积区域划分法的划分结果,图中每个子图像区域的面积都是相等的。

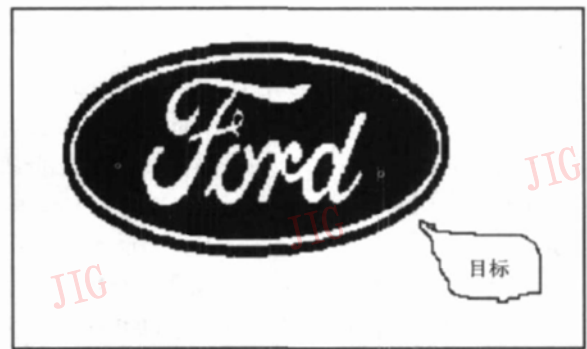
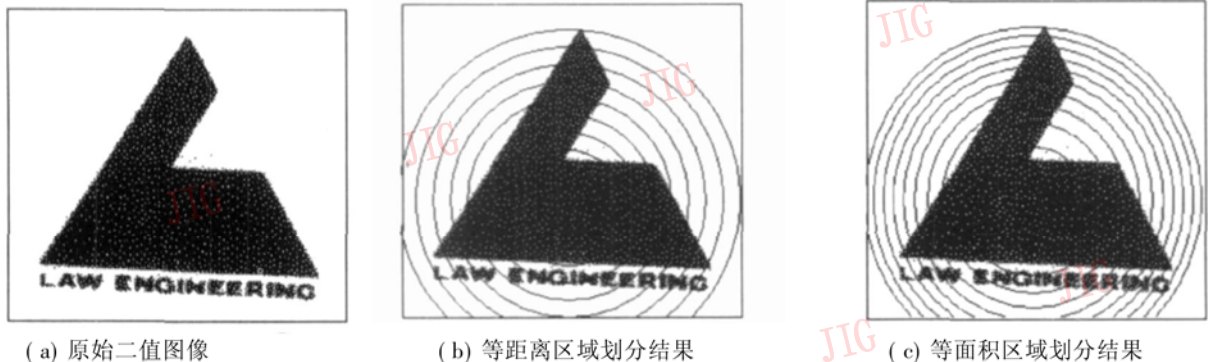


图 1 图像中的目标区域

Fig 1 Object region in binary image



(a) 原始二值图像

(b) 等距离区域划分结果

(c) 等面积区域划分结果

图 2 区域划分的一个例子

Fig 2 An instance of region partition

2.2 密度分布特征

密度分布特征 (density distribution feature, DDF) 是一种反映图像目标像素的空间分布信息的特征, 这里把它定义为

$$DDF = (r_1, \dots, r_M; dr_1, \dots, dr_M) \quad (6)$$

其中, 包含两个 M 维特征向量, 第 1 个向量 r 表示各个子图像区域的目标像素的相对密度, 第 2 个向量 dr 表示各个子图像区域的目标像素在极坐标方向上的相对密度的一阶数值差分^[6]。下面详细介绍计算密度分布特征的步骤:

- (1) 计算图像 $f(x, y)$ 的形心, 即重心 (\bar{x}, \bar{y}) ;
- (2) 计算图像 $f(x, y)$ 中, 目标像素点到形心的最大距离 D_{max} ;
- (3) 先计算图像 $f(x, y)$ 中, 以形心为圆心, 以 D_{max} 为半径的目标区域外接圆, 然后在外接圆内, 使用等距离区域划分法或等面积区域划分法将图像划分为 M 个子图像区域 ($M > 0$);

(4) 对各子图像区域分别进行统计, 即计算各个子图像区域内目标像素的总数 $S_i (i = 1, \dots, M)$, 并找出 S_i 的最大值 $S_{max} = \max_{i=1, \dots, M} (S_i)$;

(5) 计算密度分布特征的第 1 个特征向量 r 的以下各个分量:

$$r_i = S_i / S_{max} (i = 1, \dots, M) \quad (7)$$

(6) 计算密度分布特征的第 2 个特征向量 dr 的以下各个分量:

$$dr_i = \begin{cases} |r_1 - r_2| & i = 1 \\ |2r_i - r_{i-1} - r_{i+1}| & 1 < i < M \\ |r_M - r_{M-1}| & i = M \end{cases} \quad (8)$$

(7) 按照以下顺序组织密度分布特征:

$$DDF = (r_1, \dots, r_M; dr_1, \dots, dr_M)$$

2.3 特征提取结果和分析

图 3(a) ~ 图 3(c) 的密度分布特征的第 1 维向量 r 和第 2 维向量 dr 的对比图见图 3(d) 和

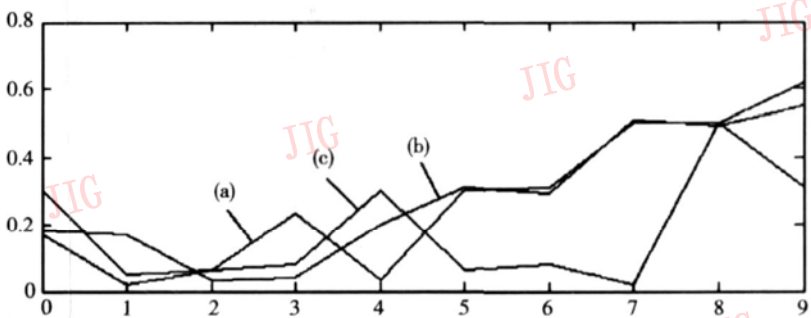
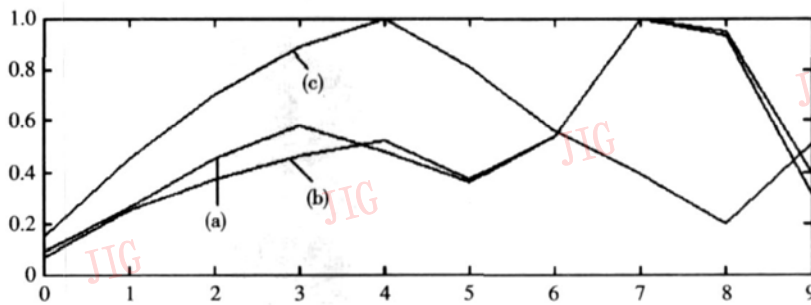


图 3 密度分布特征对比图

Fig. 3 Contrast of DDF

图 3(e), 曲线 (a) 代表图 3(a), 曲线 (b) 代表图 3(b), 曲线 (c) 代表图 3(c)。从图中可看出, 对于有相同形状区域的二值图像, 其密度分布特征大致也是相似的, 如曲线 (a) 和 (b)。这说明, 密度分布特征能够反映出二值图像的总形状信息, 是一种有效的形状特征。

用密度分布特征来描述二值图像的形状特征, 其优点是:

- (1) 密度分布特征可以抓住总体的形状信息;
- (2) 密度分布特征具有平移不变性, 因为其是选择重心作为形心, 并且子图像区域的划分是针对目标区域的, 所以目标在图像中的位置不影响密度分布特征的值;
- (3) 密度分布特征具有尺度不变性, 由于所有图像的目标区域均被划分为相同数目的子图像区域, 所以对图像进行放大或缩小后获得的图像, 其密度分布特征与原图的密度分布特征基本相同;
- (4) 密度分布特征具有旋转不变性, 因为采取的是圆形划分法, 所以旋转变换对于密度分布特征基本没有影响。

其局限性为对于总体上完全不同的图像也可能产生相似的密度分布特征。

3 在二值图像检索中的应用

为验证密度分布特征在二值图像检索中的应用效果, 用密度分布特征作为形状特征来对二值图像进行检索实验, 实验中使用 1000 幅二值商标图像组成的图像库。从实验结果可以看出, 密度分布特征确实不仅具有非常好的平移、尺度和旋转不变性, 而且具有很好的检索性能。

3.1 相似性度量

图像间的相似性可以用相应特征之间的距离进行度量, 本文采用欧氏距离进行相似性度量。度量时, 首先分别计算密度分布特征的两个特征向量的欧氏距离 d_r 和 d_{ar} ; 然后计算两个特征向量的综合距离。由于两个特征向量处于不同的特征空间, 所以在融合这两个特征前有必要对其归一化。和特征内部各分量的归一化不同, 这种归一化是对图像间某一特征的相似距离进行归一化, 在这里采用 Gaussian 模型对距离进行归一化^[7]:

计算查询图像与图像库中每幅图像对应的某个子特征的距离, 再计算出这些距离的均值 μ 和标准

差 σ 。距离归一化公式为

$$\tilde{d} = \begin{cases} 1 & d < \mu - 3\sigma \\ \frac{d - \mu}{3\sigma} + 1 & \mu - 3\sigma \leq d \leq \mu + 3\sigma \\ 1 & d > \mu + 3\sigma \end{cases} \quad (9)$$

归一化后两个特征分量的距离为 \tilde{d}_r 和 \tilde{d}_{ar} , 都归一化到 $[0, 1]$ 区间, 可以进行如下融合:

$$d_{DDF} = \alpha \cdot \tilde{d}_r + \beta \cdot \tilde{d}_{ar} \quad (10)$$

其中, α 、 β 分别为两个特征分量距离的权重, $\alpha + \beta = 1$ 。 d_{DDF} 为两幅图像密度分布特征的距离。实验中取 $\alpha = \beta = 0.5$ 。

3.2 实验结果

为了检验基于密度分布特征的检索效果, 从图像库中选出具有代表性的 20 幅图像作为查询图像进行了图像检索实验。图 4 给出了部分查询图像。对于每一幅图, 实验时, 首先对它们进行平移、旋转和缩放, 得到 5 幅图像, 然后加上从图像库中挑出的一些相似图像, 组成查询图像的相似图像集。这样, 对于这 20 幅查询图像, 图像库里总共有 1100 幅图像。

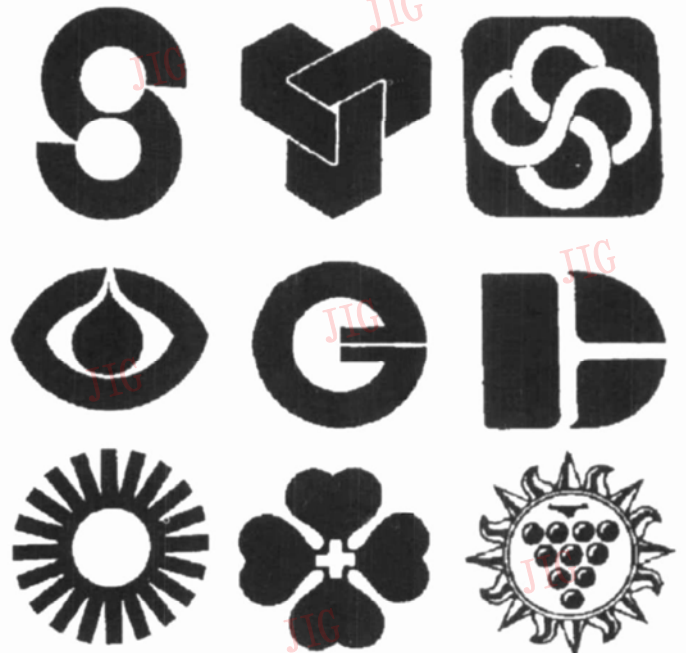


图 4 部分查询样图

Fig 4 Nine sample images in the database

在进行图像检索性能评价时, 以检索精度与检索回召率相关曲线为评价指标, 其中, 检索精度定义为检索出的有效图像数与检索出的图像总数的比率, 而检索回召率定义为检索出的有效图像数与图像库中总有效图像数的比率。检索出的有效图像是指图像库中与样本图像相似的图像。20 幅检索图

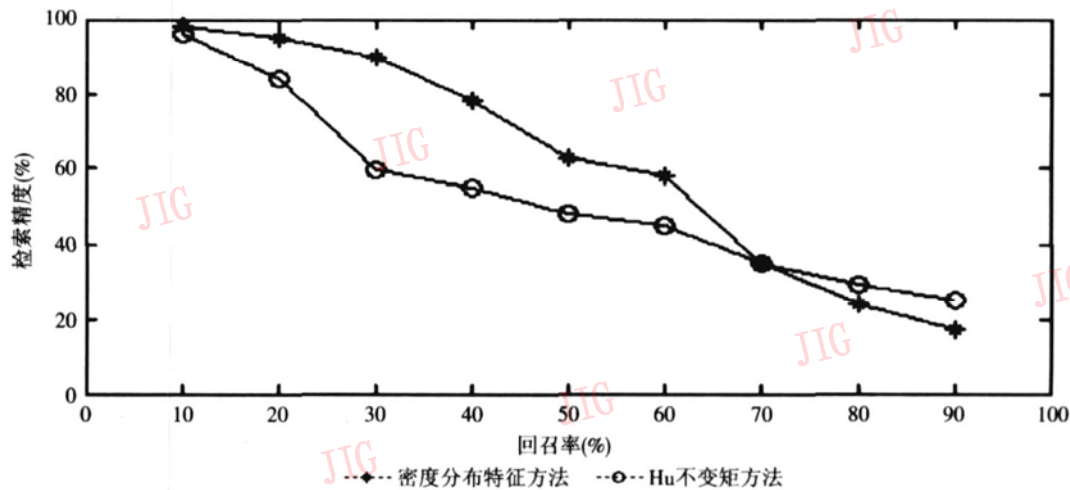


图 5 检索结果比较图

Fig 5 Recall-precision curves

像的平均检索结果如图 5 所示, 图中还给出了 Hu 不变矩的检索结果。由图 5 可知, 在相同检索回召率的情况下, 本文方法的检索精度比基于 Hu 不变矩的检索精度有一定提高。图中较高的检索精度是因为相似图像集中有 5 幅查询图像的变换图像, 这也说明了密度分布特征具有非常好的平移、旋转和缩放不变性。

由此可见, 密度分布特征不仅检索性能优于 Hu 不变矩, 而且提取方法简单, 易于计算机实现。对一幅 256×256 大小的二值图像, 在 intel P3 500PC 机上, 提取密度分布特征所需的 CPU 时间为 10ms 而提取 Hu 不变矩所需时间为 50ms。这对于大型数据库, 密度分布特征明显具有比较大的优势。

4 结 论

密度分布特征由于能够有效地刻画二值图像的形状特征, 因而在二值图像检索中取得了良好的检索结果。而且其提取方法简单, 易于计算机实现, 具有较强的实用性。但是, 由于这个特征是基于区域统计的, 对于总体上完全不同的图像也可能产生相似的密度分布特征, 少量与目标图像不相似的图像也会被检索出来, 所以今后在二值图像检索中, 需要研究如何结合其他的形状特征来对目标进行更全面的描述, 以获得更加符合人眼视觉感受的检索结果。

参考文献 (References)

- 1 Chen Y X, Wang J Z. A region-based fuzzy feature matching approach to content-based image retrieval [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(9): 1252~1267.
- 2 Wang J Z. Pathfinder: Multi-resolution region-based searching of pathology image using IRM [A]. In: Proceedings/AMIA Annual Symposium [C], Los Angeles, CA, USA, 2000: 883~887.
- 3 Jain A K, Vailay A. Shape-based retrieval: A case study with trademark image database [J]. Pattern Recognition, 1998, 31(9): 1369~1390.
- 4 Hu M K. Visual pattern recognition by moment invariants [J]. IRE Transactions on Information Theory, 1962, IT-8: 179~187.
- 5 Guo Li, Sun Xing-hua, Huang Yuan-yuan, et al. Distance distribution histogram and its application in trademark image retrieval [J]. Journal of Image and Graphics, 2002, 7A(10): 1027~1031. [郭丽, 孙兴华, 黄元元等. 距离分布直方图及其在商标图案检索中的应用 [J]. 中国图象图形学报, 2002, 7A(10): 1027~1031.]
- 6 Liu H, Feng S, Zha H. Document image retrieval based on density distribution feature and key block feature [A]. In: Proceedings of 8th International Conference on Document Analysis and Recognition [C], Seoul, Korea, 2005: 1040~1044.
- 7 Liu Ning-zhong, Yang Jing-yu. Color image retrieval using both color and texture features in object region [J]. Computer Engineering and Applications, 2003, 39(32): 187~203. [刘宁钟, 杨静宇. 综合利用目标区域颜色纹理特征的彩色图像检索 [J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(32): 187~203.]