

形态描述矩阵及其在彩色图像检索 与识别中的应用*

王 熠 翟宏琛 梁艳梅 张思远 母国光

(南开大学现代光学研究所, 教育部光电信息技术科学重点实验室, 天津 300071)

摘要 提出用以表达图像中特定区域内点的分布信息的形态描述矩阵. 该矩阵同时考虑了区域内各点的径向与角向分布信息, 能够全面、准确地表达图像的形态特征, 不受区域边界模糊的影响. 基于该形态描述矩阵, 提出了用以整体描述图像色彩区域的位置与形态特征以及判定彩色图像匹配程度的广义彩色直方图方法. 实验结果表明, 运用该方法, 能有效地进行彩色图像的检索和识别.

关键词 形态描述矩阵 相似度 匹配度 广义彩色直方图

目前基于内容的彩色图像的检索与识别^[1,2]备受关注, 彩色直方图技术^[3~5]被广泛地应用于其中. 但彩色直方图仅能给出具有某种色彩的像素占整个图像像素的百分比, 而不能给出该色彩区域内像素的位置与分布信息. 为完整表达图像中点的分布信息, 近年来提出了多种方法, 将其与彩色直方图结合以实现彩色图像的识别与检索. 这些描述图像形状信息的方法大体上可分为两类. 一类是统计方法. 该类方法将具有一定形状特征的区域内每一点对该区域几何中心的统计分布信息^[6]或者将具有相同颜色的各个点之间距离关系的统计信息^[7]作为描述该区域形状的参数. 该类方法能够在一定程度上表现区域的形状信息, 但由于统计结果是不完全的, 因而不能够描述区域内点的角向分布及区域内点分布的稀疏程度. 另一类是几何方法. 该类方法首先将图像形状特征区域的边界提取出来, 进而通过几何仿射变换^[8]、小波变换^[9]及梯度下降^[10]等数学方法, 表达边界的几何信息. 这类方法能够相对完整地描述区域的几何性质, 从而为进一步分析区域的几何特性提供有效的手段. 但是, 由于该类方法对形状特征的描述依赖于对区域边界的正确提取, 因而将其用于描述区域边界模糊的形状信息时, 会遇到一定的

2003-07-03 收稿, 2003-11-18 收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号: 60177004)、天津市自然科学基金(批准号: 023602211)和南开大学人事处科研启动经费资助项目

困难. 同时, 由于该类方法需要进行边界提取和几何变换等处理, 这也无疑会增加运算的复杂度并降低其应用的效率.

本文提出用以表达图像中具有一定性质区域内点的分布信息的形态描述矩阵. 该矩阵同时考虑了区域内点的径向与角向分布, 能够全面、准确地表达图像的形态特征, 从而不受区域边界模糊的影响, 能很好地弥补上述两类方法的不足. 此外, 我们将形态描述矩阵应用于具有相同色彩的区域, 提出了整体描述图像色彩区域的位置与形态特征的广义彩色直方图. 理论分析和实验数据表明, 与统计方法和几何方法相比, 基于形态描述矩阵的广义彩色直方图能够针对图像的分布特点更有效地进行彩色图像的检索和识别.

1 形态描述矩阵

设 F 是具有一定性质的点组成的区域, $P = \{(x, y) | (x, y) \in F\}$ 为属于区域 F 的点的集合, 设区域 F 的中心坐标为 $P_c(x_c, y_c)$ ^[6]. 考虑到计算的复杂性, 对于集合 P 内点与点之间的距离, 我们采用城区距离(city-block, 即 L_1 距离, 本文所涉及的距离均指城区距离)来计算, 从而得到集合 P 中任意点 (x, y) 的“极坐标”的表示 (r, θ) . 相应的变换公式如下:

$$r = |x - x_c| + |y - y_c|, \quad \theta = \arctan\left(\frac{y - y_c}{x - x_c}\right), \quad (1)$$

其中, r 表示城区距离, 它描述各点对中心点的径向分布, 表现区域 F 对其中心的展开程度; θ 描述了该区域的角向分布, 表现其在某一角度范围内的分布情况.

设集合 P 中距离中心点 P_c 最远的点为 $P_{\max}(x_{\max}, y_{\max})$, 其与 P_c 的距离为

$$r_{\max} = |x_{\max} - x_c| + |y_{\max} - y_c|.$$

我们将径向均分为 $m_d = 2^m$ (m 为正整数) 等份, 角向均分为 $n_d = 2^n$ (n 为正整数) 等份, 则径向及角向的间隔分别为

$$r_d = r_{\max} / m_d, \quad \theta_d = 2\pi / n_d.$$

令 $S(r_i, \theta_j)$ 为网格 $N(r_i \sim r_i + r_d, \theta_j \sim \theta_j + \theta_d)$ 内分布的点的总数, 即

$$S(r_i, \theta_j) = \|\{(r, \theta) | r \in [r_i, r_i + r_d), \theta \in [\theta_j, \theta_j + \theta_d)\}\|, \quad (2)$$

则矩阵 S 的元素

$$S_{ij} = S(r_i, \theta_j) / \|P\| \quad (3)$$

表示分布在给定网格 N 中的点的个数占区域 F 所包含点的总数的百分比. 我们称矩阵 S 为形态描述矩阵, 并称数组 (m_d, n_d) 为矩阵 S 的维数.

如果对网格内的点的位置分布不加区分, 则可以认为矩阵 S 能足够精确地描述区域 F . 这样, 在比较具有不同形态特征区域的相似程度时, 可以通过比较其对应的形态描述矩阵的相似程度来表示.

2 形态描述矩阵的相似性

假设 S^d 与 S^q 是两个不同区域对应的形态描述矩阵, 设 S^d 与 S^q 的维数均为 (m, n) . 下面讨论如何描述两矩阵的相似程度. 令 $\mu_{ij} = S_{ij}^d - S_{ij}^q$, 易知 $-1 \leq \mu_{ij} \leq 1$, 由此得到矩阵 $\mu_{m \times n}$, 可以看出, 它直接描述了矩阵 S^d 与 S^d 的相似程度. 矩阵 μ 中同一行的各个元素表示区域中距中心距离相同而角向分布不同的点的比率, 若将矩阵 μ 中每一行所有列的元素分别相加, 则可得到向量 μ^R :

$$\mu^R = \left\{ \mu_i \left| \mu_i = \sum_{j=1}^n \mu_{ij}, i=1, 2, \dots, m \right. \right\}, \quad (4)$$

它表示径向距离相同而角向取 $0 \sim 2\pi$ 的所有点的比率. 类似地, 可得到向量 μ^θ :

$$\mu^\theta = \left\{ \mu_j \left| \mu_j = \sum_{i=1}^m \mu_{ij}, j=1, 2, \dots, n \right. \right\}, \quad (5)$$

用以表示角向分布相同而径向距离取所有可能值的点的比率.

为了能够明确地表达区域径向与角向两方面的分布信息, 引入径向相似度 η^R 和角向相似度 η^θ :

$$\eta^R = \sum_{i=1}^m |\mu_i^R|, \quad \eta^\theta = \sum_{j=1}^n |\mu_j^\theta|, \quad (6)$$

η^R 描述不同区域径向分布的相似程度, η^θ 描述不同区域角向分布的相似程度. 由此, 可得综合判定形态描述矩阵相似程度的参量相似度 η :

$$\eta = \xi \eta^R + (1 - \xi) \eta^\theta, \quad (7)$$

其中, $\xi \in [0, 1]$, 用以调节相似判定中对径向相似度 η^R 和角向相似度 η^θ 的侧重程度, 并称 ξ 为判定权重.

由如上定义可知, 形态描述矩阵的维数 (m_d, n_d) 反映了区域划分为网格的稀疏程度, 维数 (m_d, n_d) 的值越大, 即网格划分得越密, 对区域形态特征的表达就越精确, 反之, 就越模糊. 通过调节维数, 我们可以改变描述区域形态特征的精确程度. 通过调节区域判定权重 ξ , 可以改变区域相似判定中对径向与角向分布信息的侧重程度. 综上所述, 通过调节形态描述矩阵维数 (m_d, n_d) 与区域判定权重 ξ , 可以依照不同的要求对区域的形态特征进行判定.

3 形态描述矩阵用于彩色图像的检索和识别

3.1 广义直方图

若被描述区域为彩色图像中具有相同色彩的区域, 则可将形态描述矩阵应用于彩色图像的检索和识别. 为此, 将彩色直方图中的每一种色彩记为 c_i , 将图像中具有该色彩 c_i 的像素数占总像素数的百分比记为 d_{c_i} , 将具有该色彩 c_i 的不

同区域分别记为 $F_{c_i}^1, F_{c_i}^2, \dots$, 则相应区域的中心坐标可分别记为 $P_{c_i}^1, P_{c_i}^2, \dots$, 其对应的形态描述矩阵可分别记为 $S_{c_i}^1, S_{c_i}^2, \dots$. 这样, 可将每种色彩 c_i 及相应的像素百分比 d_{c_i} (即彩色直方图, 记为 H), 每种色彩对应的区域中心坐标 P_c 和该区域形态描述矩阵 S 三者相结合, 构成整体描述图像色彩与形态信息的参数集合 (H, P_c, S) , 并称此参数集合为广义彩色直方图.

3.2 彩色图像的匹配

利用两个图像的广义彩色直方图 (H^d, P_c^d, S^d) 和 (H^q, P_c^q, S^q) , 可以比较它们之间的匹配程度. 首先比较具有相同色彩 c_i 的像素百分比, 其次分别比较具有该色彩 c_i 的各个区域的中心坐标 $P_{c_i}^{d1}, P_{c_i}^{d2}, \dots$ 与 $P_{c_i}^{q1}, P_{c_i}^{q2}, \dots$ 之间的距离, 进而利用第 2 节给出的方法分别计算这些相对应区域的形态描述矩阵的相似度, 将以上计算结果相乘, 得到两彩色图像的匹配度 Σ :

$$\Sigma = \sum_{c_i} \left(\left| d_{c_i}^d - d_{c_i}^q \right| \cdot \sum_k \eta_{c_i k} \left\| P_{c_i k}^d - P_{c_i k}^q \right\| \right), \quad (8)$$

其中, $\eta_{c_i k} = \xi \eta_{c_i k}^r + (1 - \xi) \eta_{c_i k}^\theta$, 表示两图像具有色彩 c_i 的相对应的第 k 个区域的相似度, (8)式中求和下标 c_i 取两图像所有共同颜色, 对给定的 c_i , k 取具有色彩 c_i 的所有区域. 若 α 为判定阈值, 当 $\Sigma \leq \alpha$ 时, 我们认为两个图像是相似的.

4 彩色图像的检索与识别实验

4.1 彩色图像的检索实验

为比较本文提出的方法与文献[6]和[10]方法在彩色图像检索和识别的效果, 我们在包含 4880 张各类图像的数据库中选取了区域形状信息明确单一的树叶和区域边缘模糊的焰火这两种具有代表性的图像作为目标进行检索实验. 实验中, 对本文的方法, 设定判定权重 $\xi = 0.5$, 形态描述矩阵的维数 $m_d = 4$, $n_d = 8$. 从每种方法检索得到的结果中, 分别根据表征图像相似程度的参数, 选取了最为相似的 4 幅图像并且按相似程度由高到低依次排列, 作为实验结果进行比较, 如图 1 和 2 所示.

图 1 中, (a)为目标图像, (b)~(e)为采用文献[6]方法检索到的结果, (f)~(i)为采用本文所提方法检索到的结果. 可以看出, 文献[6]与本文所提方法都能够准确地反映彩色图像的形状与位置信息, 但应用文献[6]方法实现的检索未能区分具有相同形状特征区域的角度分布信息.

图 2 中, (a)为边界模糊的目标图像, (b)~(e)为采用文献[10]方法检索到的结果, (f)~(i)为采用本文所提方法检索到的结果. 可以看出, 由于本文提出的方法不受边界模糊的影响, 因而检索到的(g)~(i) 4 幅图像的整体特征与目标图像(a)较为接近.

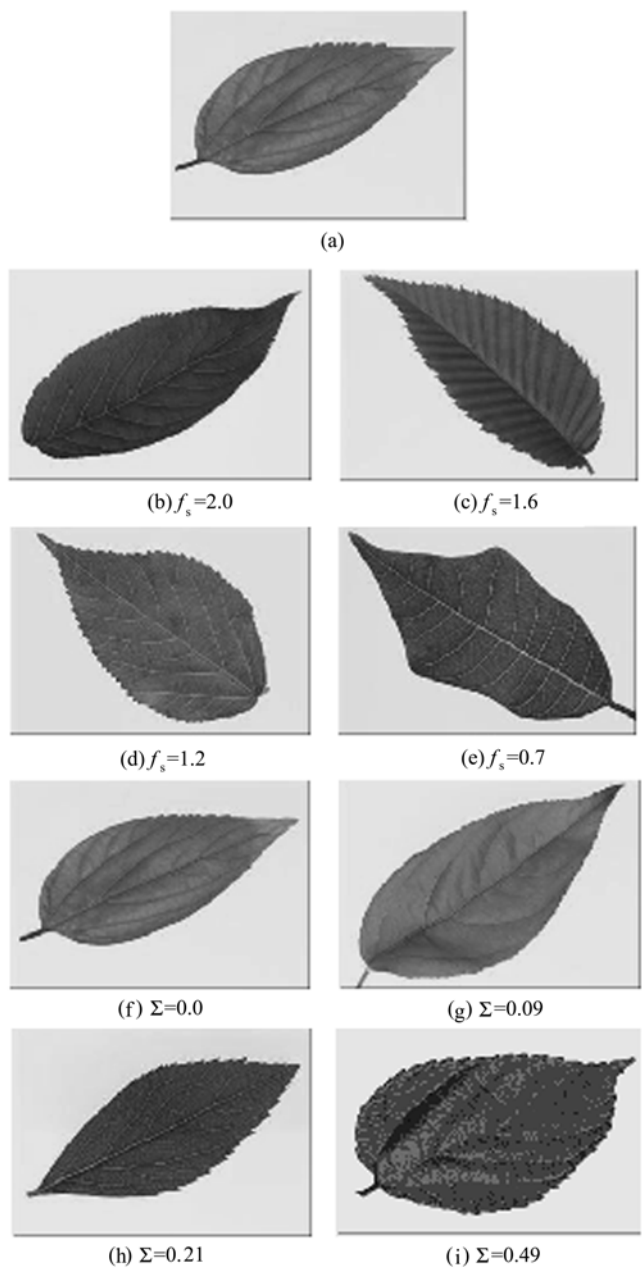


图 1 采用本文方法与采用文献[6]方法进行图像检索的结果
(a) 目标图像. (b)~(e) 采用文献[6]方法检索的结果, f_s 为其相似度. (f)~(i) 采用本文方法检索的结果

而且, 通过调节 α 的取值, 可以唯一地检索到目标图像本身. 而由于文献[10]的方法依赖于对图像特征区域边界的正确提取, 因而不能准确地描述边界模糊的区域, 导致检索结果与目标图像(a)整体特征差别较大, 并且未能检索到目标图像(a).

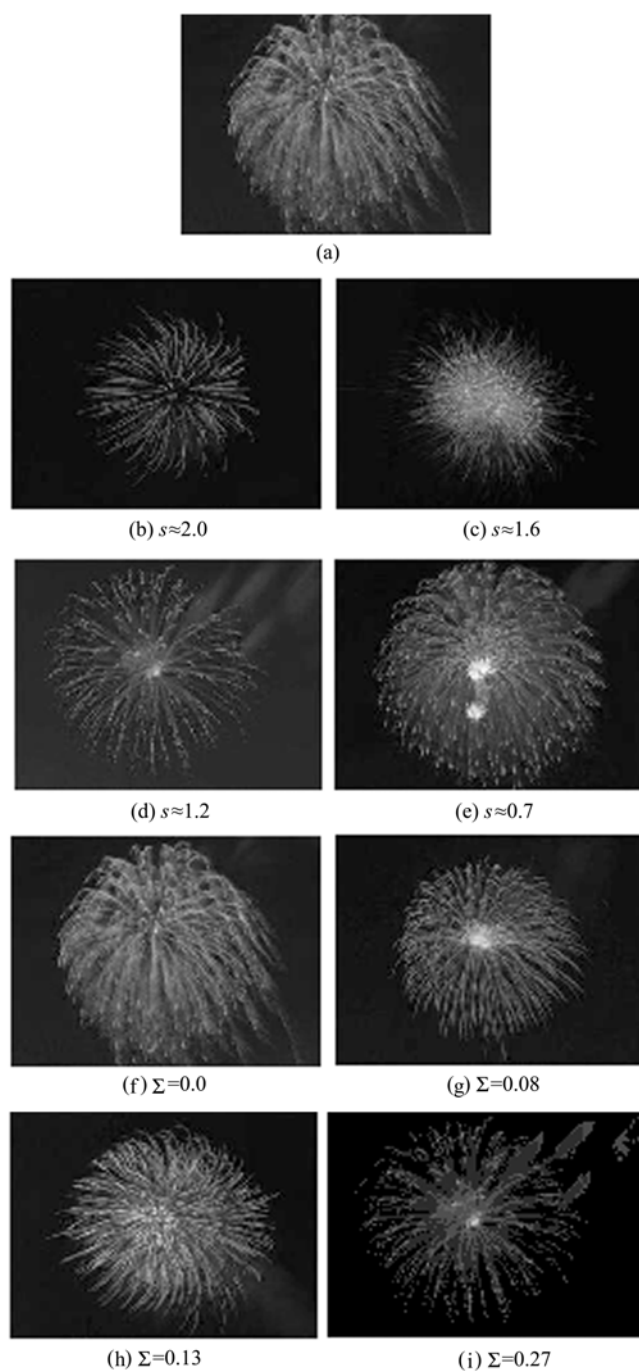


图2 采用本文方法与采用文献[10]方法进行检索的结果
(a) 目标图像. (b)~(e) 采用文献[10]方法检索的结果, s 为其相似度. (f)~(i) 采用本文方法检索的结果

4.2 检索精度的参数调节实验

为了验证可以通过改变参数集(m_d, n_d), ξ 与 α , 调节图像检索中径向与角向两方面的匹配精度, 我们对上述数据库中具有不同的色彩和形态特征的图像进行了相应的检索实验, 通过分别改变各匹配参数, 考察检索结果相应的变化. 为此, 取 $m_d = 4, n_d = 4$ 或 8 , 分别代表将区域角向均分为 4 或 8 等份. ξ 取 $0, 0.5$ 或 1 , 分别代表仅考察区域的角向分布情况, 仅考察区域的径向分布情况或综合考察径向与角向分布情况. α 取 0.1 和 0.2 . 对于表 1 中给出的每组参数, 从数据库中随机选取 200 张图像作为检索的目标图像进行检索. 将相应的 200 次检索得到的图像个数的平均值作为检索结果来评判检索精度, 即检索结果数值越小, 检索精度越高.

表 1 图像匹配参数调节实验结果

编号	θ_d	ξ	α	检索结果
A	4	0.5	0.2	9.8
A'	8	0.5	0.2	3.1
B	4	1	0.2	11.5
B'	4	0	0.2	10.9
C	8	1	0.2	4.9
C'	8	1	0.1	2.2

实验结果如表 1 所示. 表中共列出了 6 次实验数据, 分为 AA', BB' 和 CC' 三组. 同组的两次实验仅改变一个参数, 而保持其他两参数不变, 以分别考察 n_d, ξ 及 α 3 个参数的变化对检索结果的影响和对检索精度的调节作用. 此外, 当设定的参数为 $m_d = 4, n_d = 8, \xi = 0.5, \alpha = 0.1$ 时, 对随机选取的所有 200 幅图像, 都能够准确唯一地检索到目标图像本身, 这说明采用本文提出的方法能够有效地进行彩色图像的识别.

5 结论

本文所提的形态描述矩阵同时考虑了区域内点的径向与角向分布, 能够全面、准确地表达区域的形态特征. 将其应用于具有相同色彩区域的描写, 我们定义了整体描述图像色彩区域的形态特征的广义彩色直方图. 理论分析和实验数据表明, 与统计方法和几何方法比较, 应用基于形态描述矩阵的广义直方图能够针对图像的分布特点更有效地对彩色图像进行检索和识别.

本文提出的形态描述矩阵以及基于形态描述矩阵的广义彩色直方图方法, 具有一定的普遍意义. 若将形态描述矩阵用于描述具有相同灰度的区域, 并与灰度直方图结合, 则可实现同样功能的灰度图像的检索和识别.

目前, 在本文所涉及的应用广义彩色直方图进行彩色图像的检索与识别工作中, 各参数的选取均为人为事先设定, 进一步实现该应用的智能化与自适应的研究工作正在进行中, 其结果将另文报道.

参 考 文 献

- 1 Aigrain O H, Zhang H, Petkovic D. Content-based representation and retrieval of visual media: a state-of-the-art review. *Multimedia Tools and Applications*, 1996, 3(1): 179~182
- 2 Funt B V, Finlayson G D. Color constant color indexing. *IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell*, 1992, 17(5): 522~529[DOI]
- 3 Pratt W K. *Digital Image Processing*. New York: Wiley, 1991
- 4 梁燕梅, 翟宏琛, 母国光. 基于模糊相关的彩色图像检索. *中国科学, E辑*, 2003, 33(8): 934~938[摘要][PDF]
- 5 Liang Y M, Zhai H C, Chavel P. Fuzzy color-image retrieval. *Optics Communications*, 2002, 212: 247~250[DOI]
- 6 Cinque L, Ciocca G, Levialdi S, et al. Color-based image retrieval using spatial-chromatic histograms. *Image Vision Computing*, 2001. 19
- 7 Rautiainen M, Doermann D. Temporal color correlograms for video retrieval. *Proc ICPR*, 2002, 1(2): 267~272
- 8 Mokhtarian F, Abbasi S. Shape similarity retrieval under affine transforms. *Pattern Recognition* 2002, 35(1): 31~41[DOI]
- 9 Osowsky S, Nghia D D. Fourier and wavelet descriptors for shape recognitions using neural networks—a comparative study. *Pattern Recognition*, 2002, 35(1): 1949~1957[DOI]
- 10 Peng J Y, Yu B Z, Wang D K. Image similarity detection based on direction gradient angular histogram. *Proc ICPR*, 2002, 1(2): 147~153