

基于形态矩阵的图像模糊匹配方法^{*}

王 熠 翟宏琛[†] 母国光

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

(光电子信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300071)

(2004 年 7 月 15 日收到, 2004 年 9 月 20 日收到修改稿)

将模糊匹配方法与形态矩阵方法相结合, 构造了形态矩阵模糊匹配关系的隶属函数, 并给出了形态矩阵的模糊匹配判据, 用以比较图像的形态特征. 分析和实验结果表明, 采用该方法对图像进行匹配分析时, 能够对图像进行更有效的检索.

关键词: 模糊匹配, 隶属函数, 形态矩阵的模糊匹配

PACC: 0210, 4230D

1. 引 言

目前, 基于内容的图像分析方法^[1]普遍地应用于图像检索的研究中. 基于彩色直方图的彩色图像模糊匹配方法^[2,3], 由于其能够大大减少图像色彩匹配中的计算量, 因而具有较高的准确率与检索速度. 但由于该方法以彩色直方图^[4]为基础, 仅能给出图像中特定色彩的比率信息, 因而不能描述图像的形态特征等信息.

形态矩阵方法^[5]同时考虑了图像形态特征的径向与角向的分布, 能够全面、准确地描述图像的形态特征, 且不受图像形态特征边界模糊的影响, 因而可以很好地弥补基于直方图的图像匹配方法的不足.

本文将模糊匹配方法与形态矩阵方法相结合, 构造了描述不同形态矩阵元素间模糊匹配关系的隶属函数, 提出了基于形态矩阵的图像模糊匹配方法. 理论分析及实验结果表明, 采用该方法对图像进行匹配分析时, 既能够全面地考虑图像的形态特征, 又能够对图像进行高速、准确的模糊匹配判定, 能够更有效地对图像进行检索.

2. 模糊匹配与形态矩阵

2.1. 模糊关系与模糊匹配

模糊关系^[6]描述元素之间的某种关联关系. 设 X, Y 为两非空集合, 称 $R \in F(X \times Y)$ 为由 X 集到 Y 集的模糊关系, $F(X \times Y)$ 为 $X \times Y$ 的模糊子集的集合. 设 μ_R 为模糊关系 R 的隶属函数, 则对任意 $(x, y) \in X \times Y$, $\mu_R(x, y)$ 表示 x 与 y 具有模糊关系 R 的程度.

依据 α 截集定义^[7-9], 如果 $\mu_R(x, y) > \alpha$, 我们称元素 x 与 y 具有模糊匹配关系 R ; 如果 $\mu_R(x, y) \leq \alpha$, 则称元素 x 与 y 不具有模糊匹配关系 R .

2.2. 形态矩阵

文献^[5]给出了形态描述矩阵(以下简称形态矩阵) S 的定义如下

$$S_{ij} = \mathcal{S}(r_i, \theta_j) / \|P\|, \quad (1)$$

其中 $\mathcal{S}(r_i, \theta_j)$ 为分布在依形态矩阵维数 (m, n) 划分的每一网格内的像素数目(如图 1), $\|P\|$ 为整个图像区域的像素总数, S_{ij} 为形态描述矩阵的元素. 因此, 用形态矩阵描述图像的形态信息时, 可以用不同图像的形态矩阵之间的比较来判定图像的形态特征间的匹配关系.

2.3. 形态矩阵间的模糊匹配

我们将模糊匹配方法引入对形态矩阵匹配的判

^{*} 国家自然科学基金(批准号: A60177004)资助的课题.

[†] E-mail: zhai@nankai.edu.cn

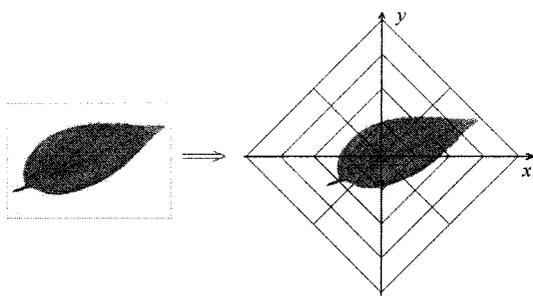


图 1 形态矩阵定义示意图

定中, 可得到形态矩阵的模糊匹配判据.

设 S^X 和 S^Y 为维数相同的形态描述矩阵, 矩阵 S^X 和 S^Y 的元素分别记为 S_{ij}^X 和 S_{ij}^Y . (矩阵 S^X 和 S^Y 可看作两集合, 其中元素分别为 S_{ij}^X 和 S_{ij}^Y). 令

$$T = \{ \{ S_{ij}^X, S_{ij}^Y \} \mid S_{ij}^X \in S^X, S_{ij}^Y \in S^Y \}, \quad (2)$$

定义模糊匹配关系 $R \in F(T)$, $F(T)$ 为 T 的模糊子集的集合. 设 $\mu_R(x, y) \in [0, 1]$ 为模糊匹配关系 R 的隶属度函数 (具体形式下文给出), 则可得到一矩阵 M , 其元素为

$$M_{ij} = \mu_R(S_{ij}^X, S_{ij}^Y), 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n \quad (3)$$

表示两形态矩阵 S^X 和 S^Y 对应元素 S_{ij}^X 和 S_{ij}^Y 具有模糊匹配关系 R 的程度. 即当 $M_{ij} = \mu_R(S_{ij}^X, S_{ij}^Y) = 1$ 时, 表示元素 S_{ij}^X 和 S_{ij}^Y 完全具有模糊匹配关系 R ; 而当 $M_{ij} = \mu_R(S_{ij}^X, S_{ij}^Y) = 0$ 时, 则表示元素 S_{ij}^X 和 S_{ij}^Y 完全不具有模糊匹配关系 R ; 当 $M_{ij} = \mu_R(S_{ij}^X, S_{ij}^Y)$ 取 0 和 1 之间的某个数值 r 时, 表示元素 S_{ij}^X 和 S_{ij}^Y 具有模糊匹配关系 R 的程度为 r .

定义向量

$$M_r = \sum_{j=1}^n M_{ij}, i = 1, 2, \dots, m$$

$$M_a = \sum_{i=1}^m M_{ij}, i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

进而定义径向隶属度 f_r 与角向隶属度 f_a

$$f_r = \min\{M_r\}, f_a = \min\{M_a\} \quad (5)$$

分别为向量 M_r 与 M_a 中最小元素的值, 分别表示两形态矩阵 S^X 和 S^Y 在径向和角向具有模糊匹配关系 R 的程度.

为判定两形态矩阵是否匹配, 可分别定义径向隶属度 f_r 及角向隶属度 f_a 的阈值 α_r 与 α_a , 对于形态矩阵 S^X 和 S^Y , 当 $f_r \geq \alpha_r$ 且 $f_a \geq \alpha_a$ 时, 称 S^X 和 S^Y 具有模糊匹配关系 R , 即匹配; 否则, 称 S^X 和 S^Y 不具有模糊匹配关系 R , 即不匹配. 我们称上述判定

原则为形态矩阵的模糊匹配判据.

2.4. 隶属函数

由形态矩阵的定义可知, 其元素的取值范围应为 $[0, 1]$. 基于高斯型隶属函数, 构造了判定形态矩阵元素模糊匹配关系的隶属函数 $\mu_R(x, y)$, 即

$$\mu_R(x, y) = \left(e^{-x-y^2} - \frac{1}{e} \right) \left(\frac{e}{e-1} \right), \quad (6)$$

其中 e 为自然对数的底. 对矩阵 S^X 和 S^Y 的任意元素 S_{ij}^X 和 S_{ij}^Y (经计算) 有

$$\mu_R(S_{ij}^X, S_{ij}^Y) \in (0, 1], \quad (7)$$

可见, 当 $S_{ij}^X = S_{ij}^Y$ 时, $\mu_R(S_{ij}^X, S_{ij}^Y) = 1$; 当 $|S_{ij}^X - S_{ij}^Y| \rightarrow 1$ 时, $\mu_R(S_{ij}^X, S_{ij}^Y) \rightarrow 0$. (6) 式定义的隶属函数为高斯型^[9]隶属函数的变形, 用以计算形态矩阵元素间的模糊匹配关系.

图 2(a) 为由隶属函数 (6) 式得到的曲线, 其中横坐标为 $|x - y|$, 纵坐标为隶属函数 $\mu_R(x, y)$; 图 2(b) 为根据文献 [5] 中判定形态矩阵相似程度的计算方法而做出的曲线, 即形态矩阵对应元素之差与描述其元素相似度之间的关系, 其中横坐标为 $|x - y|$, 纵坐标为 $1 - |x - y|$. 图 2(b) 表示文献 [5] 中判定形态矩阵相似关系的计算方法为形态矩阵对应的差, 即其相似度与形态矩阵对应元素之间的关系为线性关系. 比较图 2(a) 与图 2(b), 可知, 当纵坐标趋于相同值时, 图 2(a) 的横坐标值总大于图 2(b) 的值. 例如, 对图 2(a) 而言, 当纵坐标大于或等于 0.8 时, 曲线的变化比较平缓. 这表明本文所提出的隶属函数对形态矩阵元素的微小差别不敏感, 而由于文献 [5] 采用线性差进行计算, 因此对此差别则较为敏感.

3. 基于形态矩阵模糊匹配的图像检索实验

为考察本文提出的形态矩阵模糊匹配方法的有效性, 我们应用本文的方法从包含了 1200 张各类植物的待检索图像库中随机选取了 20 幅图像作为目标图像, 并分别依据每个目标图像的形态特征, 检索与该目标图像相似的图像. 首先根据花朵的色彩范围, 确定目标图像和待检索图像的花朵区域, 进而分别计算其花朵区域的形态矩阵, 然后依据第 2 节中的形态矩阵模糊判定方法, 计算两形态矩阵间的径向隶属度 f_r 与角向隶属度 f_a . 图 3 为其中一例实

验 相应的两个阈值分别为 $\alpha_r = 0.8$ 和 $\alpha_a = 0.7$. 图 3(a) 为目标图像, 检索得到的图像依 α_r 的大小依次排列, 如图 3(b)–(e) 所示. 为对本文所提出的方法与文献 5] 的方法进行比较, 还给出了其相应的 f_r 及 f_a 的值.

由图中给出的 f_r 与 f_a 的值可以看出, f_r 与 f_a 能够分别准确地表示目标图像与检索图像整体的径向与角向的匹配程度, 即 f_r 表示花朵花瓣展开的程度大小, f_a 表示花朵花瓣展开侧重的方向. 为比较本文所提方法与文献 5] 方法的实验效果, 同时为不产生混淆, 我们将文献 5] 中径向相似度和角向相似度分别记为 l_r 与 l_a , 即分别代表考虑径向分布 ($\xi = 1$) 和考虑角向分布 ($\xi = 0$) 的相似度. 比较图像参数

f_r 与 f_a 和参数 l_r 与 l_a , 可以看出, 对于形态相似的图像, l_r 与 l_a 的值分别较 f_r 与 f_a 的值小得多, 即对表征相似程度的阈值采用相同的约束时, 采用文献 [5] 提出的方法较本文将给出较少的检索结果, 即在对图像形态特征约束较为严格的情况下, 采用本文所提方法能够给出较多的检索结果, 也就是对图像的形态特征的微小差别具有很强的敏感性. 因而, 实验结果表明本文所提方法较文献 5] 提出的方法对图像形态特征的微小变化较敏感, 因而在实际的应用中能够更有效地进行图像形态特征的检索.

可见, 将基于形态矩阵的模糊匹配方法应用在基于图像形态特征的匹配判定图像检索中, 能够较准确、有效地根据图像的形态特征给出检索结果.

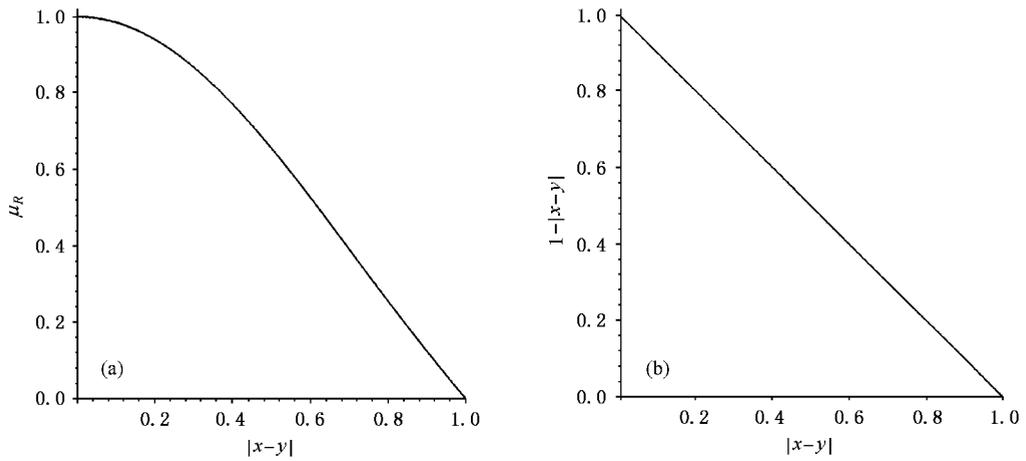
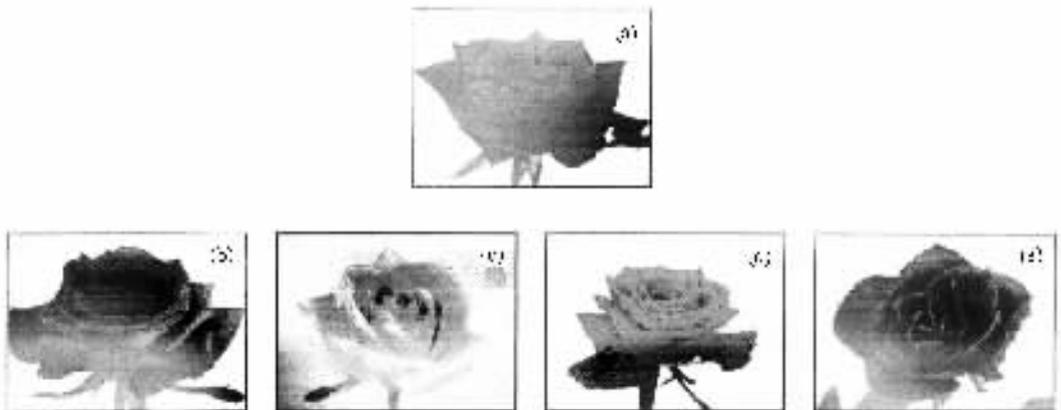


图 2 本文与文献 5] 形态矩阵相似程度判定函数图像比较



$f_r = 0.92, f_a = 0.82$
 $l_r = 0.77, l_a = 0.65$

$f_r = 0.85, f_a = 0.86$
 $l_r = 0.77, l_a = 0.65$

$f_r = 0.82, f_a = 0.76$
 $l_r = 0.65, l_a = 0.59$

$f_r = 0.80, f_a = 0.71$
 $l_r = 0.63, l_a = 0.55$

图 3 基于形态矩阵模糊匹配的图像检索实验结果

4. 结 论

1. 本文提出了将模糊匹配与形态矩阵相结合的基于形态矩阵的图像形态模糊匹配判定方法.

2. 与文献[4]中基于彩色直方图的方法相比,能够更有效地给出反映图像的形态特征的检索结果.

3. 与文献[5]所提方法相比,图像检索的过程具有较强的鲁棒性.

4. 本文所提方法可普遍地用于各类对彩色或灰度图像进行的分析或检索.若与文献[5]中的广义直方图方法结合,则可构造出基于广义直方图的形态模糊匹配判定方法,实现对图像的色彩比例和形态分布同时进行分析,相关的研究结果将另文报道.

- [1] Aigrain H, Zhang and Petkovic D 1996 *Multimedia Tools and Applications* **3** 179
- [2] Liang Y M, Zhai H C and Mu G G 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 2671 (in Chinese) [梁艳梅、翟宏琛、母国光 2002 物理学报 **51** 2671]
- [3] Liang Y M, Zhai H C and Pierre C 2002 *Optics Communications* **212** 247
- [4] Pratt W K 1991 *Digital Image Processing* (New York: Wiley Press)
- [5] Wang Y *et al* 2004 *Science in China*, E **47** 159
- [6] Bezdek J C 1981 *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms* (New York: Plenum Press) p39
- [7] Guo G R and Zhuang Z W 1993 *Fuzzy Technology in Information Processing* (Changsha: National University of Defence Technology Press) 41—47 (in Chinese). [郭桂蓉、庄钊文 1993 信息处理中的模糊技术(长沙:国防科技大学出版社)第41—47页]
- [8] Liang Y M, Zhai H C, Chang S J and Zhang S Y *Acta Phys. Sin.* **52** 2655 (in Chinese) [梁艳梅、翟宏琛、常胜江、张思远 2002 物理学报 **52** 2655]
- [9] Fang S C and Wang D W 1997 *Fuzzy Mathematics and Fuzzy Optimization* (Science Press) 70—72 (in Chinese) [方述诚、汪定伟 1997 模糊数学与模糊优化(北京:科学出版社)第70—72页]

Fuzzy matching of Images based on shape description matrix^{*}

Wang Yi Zhai Hong-Chen[†] Mu Guo-Guang

(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

(Key Laboratory of Optoelectronic Information Science & Technology, Chinese Ministry of Education, Tianjin 300071, China)

(Received 15 July 2004; revised manuscript received 20 September 2004)

Abstract

In this paper, a fuzzy matching criterion of membership function based on shape description matrix (SDM) is presented to analyze and compare shape characteristics of images. Analysis and experimental result show that by applying this approach to image retrieval, more effective image retrieval can be achieved.

Keywords: fuzzy matching, membership function, fuzzy matching of SDM

PACC: 0210, 4230D

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. A60177004).

[†] Correspondent Author