

灰度共生矩阵检索纹理图像的算法研究

苑丽红 孙爽滋 付 丽

(长春理工大学计算机科学技术学院 长春 130022)

摘 要 图像的特征提取和匹配是基于内容的图像检索技术的基础。针对典型纹理图像的检索问题,给出了共生矩阵特征统计量的合理提取方法。在此基础上,结合特征匹配技术实现了基于共生矩阵的纹理图像检索系统。测试了不同度量函数以及不同的特征统计组合对检索结果的影响。研究表明,提取共生矩阵的四参数,用加权街区距离进行图像匹配,可获得相对较好的检索效果。

关键词 图像检索,特征提取,灰度共生矩阵

中图分类号 TP391.41 **文献标识码** A

Study on Algorithm of Texture Image Retrieval by Gray Level Co-occurrence Matrix

YUAN Li-hong SUN Shuang-zi FU Li

(School of Computer Science and Technology, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract Image's feature extraction and matching is essential for content-based image retrieval. To retrieve texture image better, this paper discussed the Rational method for extract features of texture image by gray level co-occurrence matrix. Then combined with similarity measures, the basic system based on GLCM was developed. Different measure functions and different combination of statistics were used to analyze their effect on retrieval. The result indicates that better retrieval performance is achieved by extracting four parameters from GLCM and measuring them with weighted block distance.

Keywords Image retrieval, Feature extraction, Gray level co-occurrence matrix

基于内容的图像检索 CBIR(Content Based Image Retrieval) 是指从图像本身的内容入手来检索数据库中与目标图像相近的图像。该技术能有效地对图像进行智能化的管理和查询,使图像使用者和管理者可以从大量单调的人工工作中解放出来,实现图像管理工作的无人干预^[1-3]。

本文主要研究基于纹理的图像检索。纹理特征是一种不依赖于颜色或亮度的反映图像中同质现象的视觉特征。它包含了物体表面结构组织排列的重要信息以及它们与周围环境的联系,是物体表面特有的内在特性。近年来,基于纹理的图像检索受到了广泛的重视与研究。

对纹理图像检索,常用的纹理特征主要有 Tamura 纹理特征^[1]、自回归纹理模型^[2]、方向性特征、小波变换^[3,4] 和共生矩阵^[5] 等形式。近年来,基于共生矩阵的纹理检索算法被广泛应用^[6,7],但从目前的文献来看,以共生矩阵检索纹理图像在统计特征量的选择、相似性度量方面并没有完全走向成熟,还有待于进一步深入细致的研究。

1 检索系统框架

图像检索系统框架如图 1 所示。

(1) 查询模块:对用户 提供多样的查询手段,支持用户进行各种类型的查询工作。

(2) 描述模块:将用户的查询要求转化为对图像内容比较抽象的内部表达和描述,即以计算机可以方便表达的数据结构描述给定图像的内容。

(3) 匹配模块:将查询描述与图像库中被查询图进行内容匹配和比较,以确定它们在内容上的一致性和相似性。这个匹配结果将传给提取模块。

(4) 提取模块:根据匹配的结果在内容匹配的基础上将所有满足给定条件的图像自动地从图像库中提取出来。

(5) 验证模块:验证查询结果的满意度。如不满意,新一轮的查询可以通过修改查询条件而重新开始。

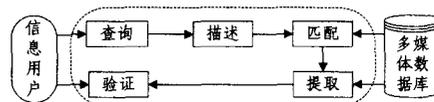


图 1 图像检索系统框架

图 1 为通用的检索系统框架。其中,图像描述和匹配是检索的关键。本文第 2 节和第 3 节将予以论述。

2 纹理特征提取

2.1 灰度共生矩阵

设图像水平和垂直方向上各有 $N_x \times N_y$ 个像元,灰度量

到稿日期:2009-01-10 返修日期:2009-09-10

苑丽红(1974-),女,硕士,讲师,主要研究方向为图像处理、遗传算法, E-mail: yuanlihongylh@yahoo.com.cn; 孙爽滋(1972-),女,硕士,副教授,主要研究方向为图像处理; 付 丽(1983-),女,研究生,主要研究方向为图像检索。

化为 N_g 层, 则图像 $\{f(i, j) | i=0, 1, \dots, N_c-1, j=0, 1, 2, \dots, N_c-1\}$ 的灰度共生矩阵如定义 1 所描述。

定义 1

$$A^\theta(d) = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} \eta(0,0) & \eta(0,1) & \eta(0,2) & \dots & \eta(0,n) \\ \eta(1,0) & \eta(1,1) & \eta(1,2) & \dots & \eta(1,n) \\ \eta(2,0) & \eta(2,1) & \eta(2,2) & \dots & \eta(2,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \eta(n,0) & \eta(n,1) & \eta(n,2) & \dots & \eta(n,n) \end{bmatrix}$$

对灰度为 N_g 的 $N_g \times N_g$ 归一化矩阵: 上式中, $n=N_g-1$, R 为所有可能的像素对组合的个数。 $\eta(i, j)$ 表示一个灰度为 i , 另一个灰度为 j 的两个距离为 d 、方向为 θ 的像元在图像中出现的次数。

若记 $P(i, j) = \frac{\eta(i, j)}{R}$, 即灰度分别为 i, j 的两个像元(距离为 d , 方向为 θ) 在图像中出现的概率, 则共生矩阵可简要描述为定义 2。

定义 2

$$A^\theta(d) = \{P(i, j) | i, j=0, 1, 2, \dots, N_g-1\}$$

2.2 统计量

在灰度共生矩阵的基础上, 可定义各种特征统计量, 以定量描述纹理。以下仅给出几种描述能力较强的参数^[8] 的定义:

$$\text{能量: ASM} = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} (P(i, j))^2 \quad (1)$$

$$\text{熵: } H = - \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} P(i, j) \ln P(i, j) \quad (2)$$

$$\text{惯性矩: CON} = \sum_{n=0}^{N_g-1} n^2 \left\{ \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} P(i, j) \right\} \quad (3)$$

$$\text{局部平稳: IDM} = \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} \frac{P(i, j)}{1 + (i-j)^2} \quad (4)$$

相关:

$$\text{COR} = \frac{\left\{ \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} ijP(i, j) \right\} - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \sigma_y} \quad (5)$$

其中, μ_x, μ_y, σ_x 和 σ_y 分别是 $p_x(i) = \sum_{k=0}^{N_g-1} p(i, k)$ 和 $p_y(j) = \sum_{k=0}^{N_g-1} p(k, j)$ 的均值和方差。

当前, 对以共生矩阵进行图像检索的问题, 多数文献中选取 3~5 个统计量, 但并没有确定的依据。本文将对此进行试验分析。

2.3 构造因子的选取

为尽可能准确地描述纹理特征, 兼顾计算量, 须选取合理的构造因子。

首先, 在图像检索过程中, 灰度级选取太大, 会增加共生矩阵的计算量, 从而影响检索速度。因此, 灰度级要尽量压缩。本文将灰度级量化为 32, 这样基本不会影响图像的纹理特征提取。如压缩过大, 则需将图像进行直方图均衡化处理, 以增加图像的整体对比效果。

关于方向, 对一般图像, 可选取 $\theta=0, \theta=45, \theta=90, \theta=135$ 这 4 个方向的均值, 削弱纹理方向对特征值的影响。

两像素间距离 d 的选择很关键。可考虑针对 BRODATZ 纹理库典型图片进行实验, 选取距离参数范围为 1~14, 观察其对共生矩阵 5 个特征统计量的影响, 结果如图 2 所示。综

合看来, 距离在 6~10 范围各特征值比较稳定。

值得注意的是, 对相关这一特征值, 从图 2(f) 来看, 不同图片的类间距较小, 鉴于此, 初步考虑相关对相似性匹配的贡献不大。

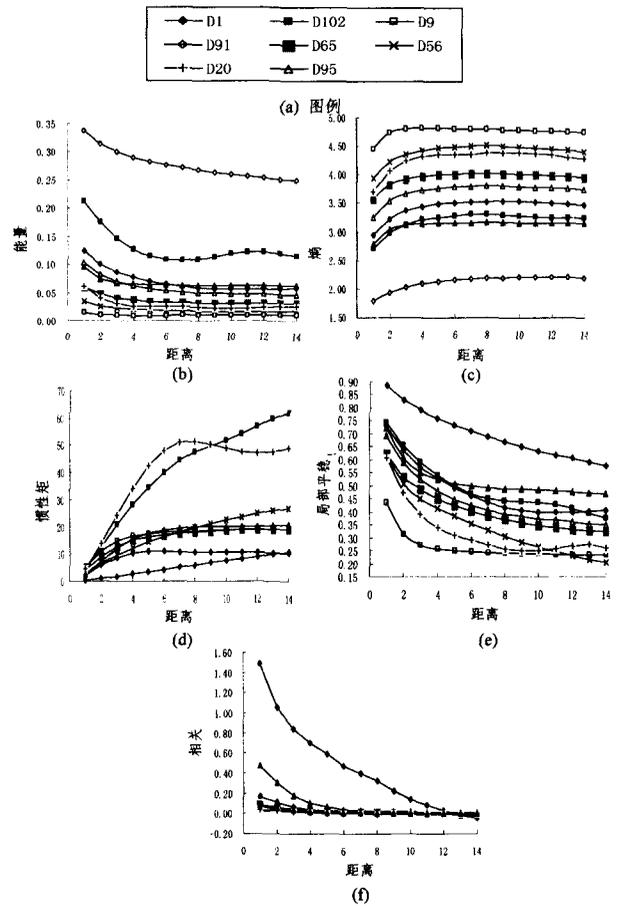


图 2 距离对 5 个特征值的影响曲线

此外, 为提高灰度共生矩阵的计算速度, 可将图像分块成若干的纹理窗口, 通过计算各子窗口的共生矩阵及特征值最终确定整幅图像的特征统计量。关于移动窗口的选择, 本文也针对图像库做了大量实验。惯性矩、局部平稳和相关在整个窗口变化过程中比较稳定。能量和熵在窗口大小 16~64 之间变化明显, 如图 3 所示, 大于 64 时曲线趋于平缓。考虑图像窗口过大, 会使同一窗口内含有若干类不同的纹理单元, 造成分析结果不明确, 窗口大小一般不超过 64。

根据构造因子, 可求取特征统计量的值。

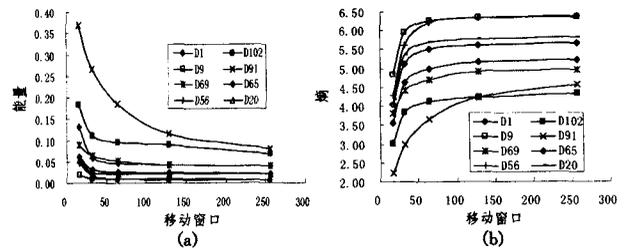


图 3 窗口对能量和熵的影响示例曲线

3 特征匹配

图像检索时, 可对特征向量归一化后^[9], 直接表征其对应的图像。选取合适的特征匹配方法, 即可计算各特征向量间

的相似程度。

常用的距离度量函数有 Minkowsky 距离、二次型距离、K-L 散度和 Jeffrey 散度等。对纹理图像检索,比较常用的是 Minkowsky 距离。

设 A, B 两幅图像的特征向量为 n 维, a_i, b_i 为各自对应的特征分量,则 Minkowsky 距离定义为:

$$L_p(A, B) = \left[\sum_{i=1}^n |a_i - b_i|^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad (6)$$

其中, $p=1$ 时,将转换为街区距离:

$$L_1(A, B) = \sum_{i=0}^n |a_i - b_i| \quad (7)$$

当 $p=2$ 时,转换为欧氏距离:

$$L_2(A, B) = \left(\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

图像检索中,更常用的是加权的距离函数,如加权欧氏距离定义如下:

$$L_2(A, B) = \left[\sum_{i=1}^n \omega_i (a_i - b_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

其中, ω_i 为特征向量各分量对应的权重。

首先对自定义图片和 BRODATZ 图片库采用上述几种距离度量方法进行对比,待检索图像库为设定好的纹理图片库,对查询的关键图在图像库中给定几幅经旋转后的图像,检验是否能够检索出这几幅相似图像。

首先,采用欧氏距离进行检索,经多次检索,发现检索结果并不稳定,有时只能检索出部分相似图像。这是因为欧式距离对所有特征的权重并没有考虑,造成检索结果与查询图像的匹配并不理想。对加权欧式距离进行实验,结果稍好于简单的欧式距离,但仍达不到检索结果的查全率。

对于简单的街区距离,多数图片检索效果较之于欧式距离理想。如图 4 所示,(a)、(b)两图中左上角为待查询图像,图库中共有 6 幅与之相似的图像,街区距离在结果图像的前 8 幅中分别检出了前 5 幅和前 4 幅。

采用加权的街区距离,检索结果如图 5 所示。6 幅相似图像在前 8 个检索结果中全部检出。可见,加权的街区距离要优于普通的街区距离。

另对 K-L 距离等做了比较,大量实验结果表明,加权的街区距离更适合检索纹理图像。

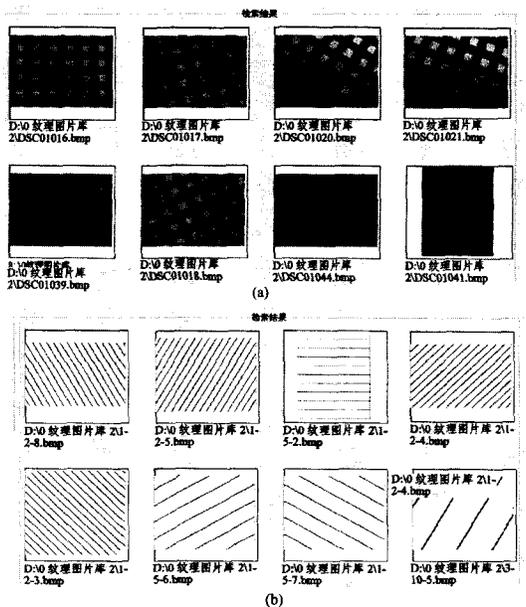


图 4 街区距离检索

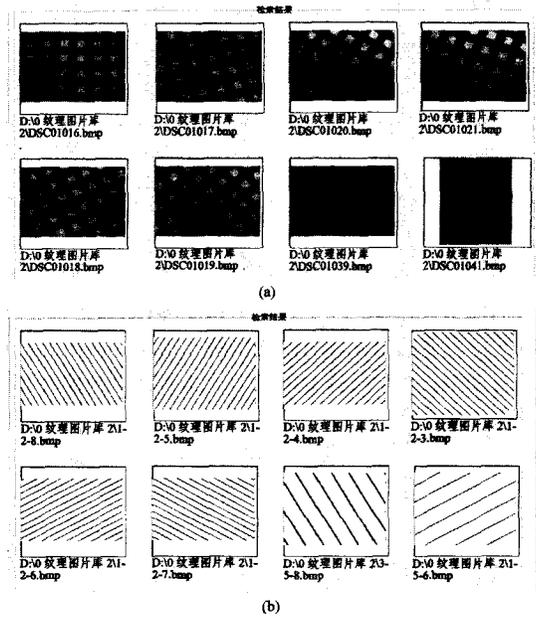


图 5 加权街区距离检索结果

4 算法分析

对特征提取算法即灰度共生矩阵法的不同特征量组合进行实验对比分析。实验系统的软硬件环境为:

CPU: AMD

内存: 1.5g

显示器分辨率: 1024×768

操作系统: Windows XP

开发工具: Visual C++ 6.0

图片来源: Brodatz 纹理库和用户自定义图片共 486 幅

其中,四参数分别为能量、熵、对比度和局部平稳,五参数采取本文 2.2 节介绍的全部特征组合。三参数算法采用能量、熵和对比度。这样选取的原因是不同图片的相关变化较小。另局部平稳与对比度均为表达可视纹理的特征。

4.1 排序评价法

设查询返回的图像幅数为 N ,在 N 幅返回图中,设 R 为相关图像的数目, ρ_r 为相关图像的排序序号, P 为实际的相关图像数。则评价参数如下:

检索到的相关图像的平均排序:

$$AVRR = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \rho_r \quad (10)$$

理想的相关图像的平均排序:

$$IAVRR = P/2 \quad (11)$$

相关图像的丢失率:

$$MT = 1 - R/P \quad (12)$$

$IAVRR$ 表示理想情况下,返回相关图像全部排在最前面的平均序号。 $AVRR$ 越接近 $IAVRR$ 表示查询效果越好。

4.2 算法评价

考虑算法分析的方便,对图片进行 3×3 切割,每幅图片分成 9 幅大小相同的图片,作为实际相关的图像。系统检索结果设置返回图像数 N 为 16。采用排序法对算法进行评价。

首先采用排序评价法中的丢失率对不同的算法进行评价。评价结果如表 1 所列。

表 1 检索丢失率评价

评价量	三参数	四参数	五参数
-----	-----	-----	-----

P	9	9	9
R	3.58	5.22	5.22
MT	0.60	0.42	0.42

从评价结果可以看出,四参数与五参数的丢失率是相当的,比三参数情况下减少了 0.18,明显优于三参数的检索结果。因此,对纹理图片的检索,不宜选用三参数。

另对四参数与五参数组合以检索结果中相关图像的平均排序评价,得到表 2 的结果。

表 2 相关图像的排序评价

评价量	四参数算法	五参数算法
AVRR	5.11	5.06
IAVRR	4.5	4.5
AVRR/IAVRR	1.14	1.12

可见,五参数查询结果 AVRR 虽然更接近 IAVRR,但区别并不很大。

值得注意的是,实验对各种算法的检索时间进行了记录,在检索 400 多幅图像时,四参数的检索时间比五参数检索时间减少了 1.6 秒。这说明四参数的提取速度明显优于五参数。随着检索图片的增多,提取速度将相差更多,这对于实际应用中的图像检索技术是十分重要的。

结束语 综合分析表明,利用灰度共生矩阵进行基于纹理的图像检索,可提取四参数,采用加权的街区距离匹配,可平衡计算量及检索效果的双重需求,获得较满意的效果。同时,也应该看到,面临复杂的用户需求,一个单一的图像检索系统并不能得到最优解。如何通过多种算法的结合来更好地描述图像特征,并利用相关性反馈技术使图像同实际语义相

联系,在未来很长一段时间内都将是图像检索工作者研究的方向。

参考文献

- [1] Yan Ye. Text Image Compression Based on Pattern Matching [D]. University of California, 2002
- [2] Kia Omid E, Doermann David S, Rosenfeld Azriel, et al. Symbolic Compression and Processing of Document Images[J]. Computer Vision and Image Understanding, 1998, 70(3): 335-349
- [3] Karadimitriou K, Fenstermacher M. Image compression in medical image databases using set redundancy[C]// IEEE Proceedings of Data Compression Conference, 1997. DCC '97. March 1997: 445
- [4] Karadimitriou K, Tyler J M. The centroid method for compressing sets of similar images[J]. Pattern Recognition Letters, 1998, 19: 585-593
- [5] Lee Jiann-Der, Wan Shu-Yen, Ma Cherng-Min, et al. Compression Sets of Similar Images Using Hybrid Compression Model [C]// Proceedings 2002 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2002. ICME '02
- [6] 杨有, 尚晋. 一种政府资源档案图像的二值化方法[J]. 计算机科学, 2007, 34(3): 227-229
- [7] Inglis S J. Lossless Document Image Compression[D]. University of Waikato, New Zealand, 1999
- [8] Hough P V C. Method and Means for Recognizing Complex Patterns[P]. US Patent 3,069,654, Dec. 1962
- [9] Woods R C. Digital Image Processing Second Edition[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006: 532-534
- [10] Wong I Y, Casey R G, Wahl E M. Document Analysis System. IBM J. Research Develop, 1982, 26(6): 647-656
- [11] 杨波, 汪同庆, 叶俊勇. 带噪图像的多阈值零树编码方法[J]. 光电工程, 2004, 31(3): 60-63

(上接第 268 页)

- [3] Bhat D, Nayar S K. Stereo and specular reflection [J]. IJCV, 1998, 26(2): 91-106
- [4] Brelstaff G, Blake A. Detecting specular reflections using Lambertian constraints[C]// Proc. Int. Conf. on Computer Vision, 1988: 297-302
- [5] Jin H, Soatto S, Yezzi A. Multi-view Stereo Beyond Lambert[C]// Proc. IEEE Conf. CVPR, 2003
- [6] Lin S, Li Y, Kang S, et al. Diffuse-Specular Separation and Depth

Recovery from Image Sequences[C]// Proc. European Conf. Computer Vision, 2002: 210-224

- [7] Shafer S. Using Color to Separate Reflection Components[J]. Color Research and Applications, 1985, 10: 43-51
- [8] Yang Y, Yuille A, Lu J. Local, global, and multilevel stereo matching[C]// CVPR, 1993: 274-279
- [9] Zhou Wei, Kambhamettu C. Binocular Stereo Dense Matching in the Presence of Specular Reflections[C]// IEEE Conf. CVPR, 2006

(上接第 285 页)

结束语 在特征造型系统中,拓扑元素的命名和正确辨识是系统实现的一个关键问题。本文分析了现有拓扑元素命名和辨识方法存在的主要问题,提出了一种基于特征的拓扑元素命名方法,有效实现了在模型拓扑结构发生变化时对拓扑元素的唯一命名与正确辨识,为特征模型的正确修改、重构及维护设计者的设计意图打下了良好的基础。

参考文献

- [1] Marcheix D, Pierra G. A survey of the persistent naming problem[C]// Proc. of the Symposium on Solid Modeling and Applications. Saarbrücken, Germany, 2002: 13-22
- [2] 荆树旭, 何发智, 刘华俊. 拓扑元素永久命名综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, 19(5): 545-552
- [3] Bidarra R, Bronsvort W F. Semantic feature modeling[J]. Computer-Aided Design, 2000, 32: 201-225
- [4] Kripac J. A mechanism for persistently naming topological entities in history-based parametric solid models[C]// Proc. of the 3rd ACM Symposium on Solid Modeling and Applications. Salt Lake City, Utah: ACM Press, 1995: 21-30

- [5] Capoleas V, Chen X, Hoffmann C M. Generic naming in generative, constraint-based design[J]. Computer-Aided Design, 1996, 28(1): 17-26
- [6] Chen X, Hoffmann C M. On editability of feature-based design [J]. Computer-Aided Design, 1995, 27(12): 905-914
- [7] 苏晓锋, 黄正东, 等. 形状特征中的拓扑元素编码体系[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(2): 137-141
- [8] 陈正鸣, 高曙明, 张凤军, 等. 一种拓扑元素的命名和辨识方法[J]. 计算机学报, 2001, 24(11): 1270-1277
- [9] Zheng Jiajun, Fan Ming, Tong Ruofeng, et al. A mechanism for persistently naming topological entities[C]// Proc of the 8th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design. Xiamen, China, 2004: 84-89
- [10] Wang Yan, Bartholomew O N. Geometry-based semantic ID for persistent and interoperable reference in feature-based parametric modeling[J]. Computer-Aided Design, 2005, 37: 1081-1093
- [11] Wang Yanwei, Wu Junjun, Chen Liping, et al. Identity propagation method for tracing alterations of a topological entity in a history-based solid modeling system[J]. Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, 27(3/4): 305-312
- [12] Marcheix D. A persistent naming of shells[C]// Proc. Ninth International Conference on Computer Aided Design and Computer Graphics. Hong Kong, China, 2005: 259-265