

基于 Contourlet 变换和 Hu 不变矩的图像检索算法

杨 舒,王玉德

(曲阜师范大学 物理工程学院,山东 曲阜 273165)

摘 要: 文章提出一种基于 Contourlet 变换和 Hu 不变矩的图像检索算法。首先,对每幅图像进行 Contourlet 变换,得到低频子带与高频方向子带,把计算得到的低频子带的 Hu 不变矩和各个高频方向子带的均值与标准差作为图像的特征向量,利用 Manhattan 距离进行相似度度量,完成基于内容的图像检索。为对该文提出的算法的检索效果进行检验,分别与基于 Contourlet 变换特征的检索算法和基于 Hu 不变矩特征的检索算法等方法进行了对比实验研究。结果表明,该算法有效地融合了图像的纹理特征与低频子带的形状特征,较好地实现了基于内容的图像检索,平均查准率达到 73.94%。

关键词: 图像检索; Contourlet 变换; Hu 矩; 均值和标准差; Manhattan 距离

中图分类号:TN911.73 文献标志码:A 文章编号:1007-2276(2014)01-0306-05

Image retrieval algorithm based on Contourlet transform and Hu invariant moments

Yang Shu, Wang Yude

(College of Physics and Engineering, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

Abstract: An image retrieval algorithm was proposed based on Contourlet transform (CT) and Hu invariant moments in this paper. Firstly, each image was decomposed into low frequency sub-band and high frequency sub-bands by using Contourlet transform. The Hu invariant moments of the low frequency sub-band coefficient, as well as the mean and the standard deviation of each high frequency sub-band coefficients were computed and used as image feature vector. Secondly, Manhattan distance was used as similarity measure between the query image and every image in the image database. After these two procedures, the content-based image retrieval was achieved. In order to evaluate the effect of the proposed algorithm, the algorithm based on CT and Hu invariant moments were tested respectively. Comparing the results of the average retrieval rate, the experimental results of the proposed algorithm were superior to other image retrieval algorithms. The proposed algorithm gets a higher average retrieval rate and the average retrieval rate is up to 73.94%.

Key words: image retrieval; Contourlet transform; Hu moments; mean and standard deviation; Manhattan distance

收稿日期:2013-05-10; 修订日期:2013-06-25

基金项目:山东省自然科学基金(ZR2010FM023)

作者简介:杨舒(1989-),女,硕士生,主要从事多媒体信息处理、模式识别等方面的研究。Email:yangshu162524@163.com

导师简介:王玉德(1970-),男,副教授,硕士生导师,主要从事图像处理与模式识别方面的研究。Email:wuyude-01@163.com

0 引言

基于内容的图像检索 (Content-Based Image Retrieval, CBIR) 技术主要利用图像的颜色、纹理、形状等信息, 作为图像分析的主要依据来建立图像特征数据库, 然后根据查询图像与数据库进行相似性匹配完成图像检索过程^[1-2]。基于内容的图像检索技术与传统的基于关键字的检索技术相比, 减少了工作量, 避免了人工描述的主观性。近年来国际上广泛开展了 CBIR 的研究^[3]。如 Mathieu^[4]提出了一种基于小波系数分布的图像检索算法。但是小波变换只有垂直, 水平和对角线三个方向, 不能最优地反映图像的边缘、轮廓和纹理等高维信息。Do 和 Vetterli 提出了一种多尺度分析工具 Contourlet 变换。Contourlet 变换具有多方向, 多尺度, 多分辨率和各向异性, 能够稀疏地表示图像的高维奇异特征^[5-6]。Swapna^[7]提出了一种基于 Contourlet 变换的图像检索算法, 该方法将 Contourlet 分解后的各方向子带系数作为图像特征, 采用欧氏距离进行相似度度量, 方法获得了较高的平均查准率, 但该方法的特征数据库的维数高, 检索时间长, 效率低。Duan Guoyong^[8]提出了一种基于 Hu 不变矩的图像检索算法, 该方法直接提取图像高斯归一化的 Hu 不变矩作为特征向量, 方法简单, 但平均查准率不高。Zhang Xiaojing^[9]提出一种基于 Contourlet 变换和一阶几何矩的图像检索方法, 采用欧氏距离进行相似度度量, 该方法虽然提高了平均查准率, 但仍没有很好地解决图像检索的准确性问题。

基于上述研究, 文中提出了一种基于 Contourlet 变换和 Hu 不变矩的图像检索算法。先对图像进行 Contourlet 变换, 提取低频子带的 Hu 不变矩和各高频子带的均值、标准差作为检索数据库的特征, 采用 Manhattan 距离进行相似度度量, 实现基于内容的图像检索。该算法无需任何前提假设, 充分反映了图像的形状信息和纹理信息, 提高了图像检索的平均查准率。

1 Contourlet 变换

Contourlet 变换是一种新的图像二维变换方法, 主要目的是为了获得含有线和面奇异的图像

稀疏表示。传统的二维小波是由一维小波张量积构建得到的, 只具有垂直, 水平和对角线三个方向, 缺乏多方向和各向异性, 不能稀疏地表示图像的轮廓和边缘信息。而 Contourlet 变换基的支撑区间为“长条形”, 具有多方向、多分辨率、多尺度和各向异性的性能, 可以用稀疏的方式表现奇异曲线和捕获边缘奇异点, 能够进行图像的多尺度分析^[9-10]。

Contourlet 变换分解过程如图 1 所示^[6]。

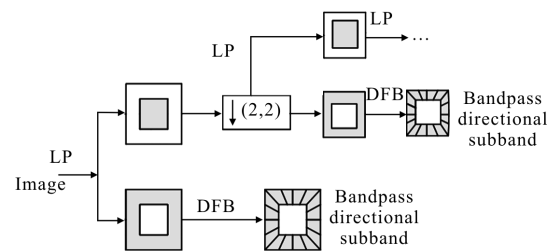


图 1 Contourlet 滤波器组

Fig.1 Contourlet filter bank

2 特征提取与相似度度量

文中在 Contourlet 变换域中结合 Hu 不变矩与均值、标准差进行特征提取, 采用不同的方法进行相似度度量, 完成图像检索。

2.1 Hu 不变矩

不变矩是指图像经过平移、旋转以及比例变换仍保持不变的矩特征量。1962 年 Hu.M.K 利用二阶和三阶归一化中心矩构造了 7 个 Hu 不变矩, 并证明了它们具有旋转、尺度和平移不变的特性, 它是基于区域的目标形状表示方法^[8]。7 个 Hu 不变矩量如下所示。

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (1)$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (2)$$

$$\phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \quad (3)$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (4)$$

$$\phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] +$$

$$(3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (5)$$

$$\phi_6 = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] +$$

$$4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (6)$$

$$\phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] - (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (7)$$

Hu 矩的变化范围很大。为便于比较,对数据进行对数压缩,实际上计算的不变矩为:

$$\varphi_k = |\log |\phi_k||, k=1,2,\dots,7 \quad (8)$$

2.2 均值与标准差

均值(mean)反映一幅图像的灰度平均值,标准差(standard deviation)反映图像的灰度值偏离均值的程度。标准差越大,灰度分布就越分散,如果越小,则说明灰度分布越趋于平稳,图像包含的信息量也越大^[11]。计算 Contourlet 分解后各方向子带的均值(μ_k)与标准差(σ_k),分析各方向子带系数的分布情况。均值 μ_k 计算公式为:

$$\mu_k = \frac{1}{M \times N} \left(\sum_i^M \sum_j^N C_k(i,j) \right) \quad (9)$$

标准差 σ_k 计算公式为:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \left(\sum_i^M \sum_j^N C_k(i,j) - \mu_k \right)^2} \quad (10)$$

式中: μ_k 为第 k 个方向系数矩阵的均值; σ_k 为第 k 个方向系数矩阵的标准差; $C_k(i,j)$ 为第 k 个方向系数矩阵; $M \times N$ 为方向系数矩阵的尺寸大小。

2.3 相似度量方法

为了能够反映两幅图像之间的相似程度,必须有一个表示图像之间相似性的客观度量^[12]。Manhattan 距离也叫城区距离,可以作为图像检索系统中的一种相似度量方法^[13]。Manhattan 距离 D_{qi}^M 的计算公式为:

$$D_{qi}^M = \sum_k |f_q^k - f_i^k| \quad (11)$$

式中: D_{qi}^M 为 Manhattan 距离; f_q^k 为查询图像的第 k 个特征量; f_i^k 为图像数据库中第 i 幅图像的第 k 个特征量。

除此之外,欧氏距离也被广泛用在图像检索系统中进行相似度量,欧氏距离 D_{qi}^E 的计算公式为:

$$D_{qi}^E = \sqrt{\sum_k (f_q^k - f_i^k)^2} \quad (12)$$

3 图像检索的步骤

文中提出的图像检索算法的一般步骤为:

(1) 对图像数据库中的 M 幅图像分别进行 l 层 Contourlet 分解,得到低频子带和 N 个高频方向子带。

(2) 按公式(1)~(10)计算图像数据库中的每幅图像 Contourlet 分解后的低频子带的 Hu 不变矩 ($\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_7$)和各个高频方向子带的均值 μ_k 、标准差 σ_k ,组成特征向量, $f_i = [\mu_1^i, \sigma_1^i, \dots, \mu_k^i, \sigma_k^i, \dots, \varphi_1^i, \varphi_2^i, \dots, \varphi_7^i]$; $k=1, 2, \dots, N$; $i=1, 2, \dots, M$,生成检索数据库。

(3) 采用步骤(1)、(2)的方法计算查询图像 q 的特征向量 f_q ,则有: $f_q = [\mu_1^q, \sigma_1^q, \dots, \mu_k^q, \sigma_k^q, \dots, \varphi_1^q, \varphi_2^q, \dots, \varphi_7^q]$, $k=1, 2, \dots, N$ 。

(4) 利用式(11)计算查询图像 q 的特征向量 f_q 与检索特征数据库中每幅图像的特征向量 f_i 的 Manhattan 距离 D_{qi}^M ,进行相似度量,其中 $i=1, 2, \dots, M$ 。

(5) 根据图像之间的相似度大小输出查询结果。 D_{qi}^M 越小,说明图像之间的相似度越大,反之,相似度越小。

4 实验与结果分析

采用 Georgia Tech(GT)人脸图像数据库作为实验对象。GT 数据库中包含 50 个人(每个人各有 15 幅人脸表情图)的共 750 幅 640×480 大小的彩色人脸表情图,文中从 GT 图像数据库中分别选取了 3 个人的各 4 幅人脸表情图,如图 2 所示。



图 2 GT 图像库中第 1,21,50 个人的 3 幅人脸图

Fig.2 3 face images of the 1st, 21th, 50th people in GT database

首先将图像库中的每幅图像转变成 256×256 大小的灰度图像,然后再对每幅图像进行 3 层(0,2,3) Contourlet 分解,塔式滤波器(LP)与方向滤波器(DFB)分别选择“9-7”和“pkva”。每一层的高频方向子带数分别为 3、4、8,共 15 个高频方向子带。计算低频子带的 7 个 Hu 不变矩并取对数,取其中的前 3

个 Hu 矩($\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$)作为特征向量。再分别计算 15 个高频方向子带的均值 μ_k 与标准差 σ_k , ($k=1, 2, \dots, 15$), 将计算得到的低频与高频特征组合在一起作为图像的特征向量, 生成检索数据库。取图像数据库中任意一幅图像作为查询图像, 利用上述方法计算查询图像的特征向量。最后计算查询图像与图像数据库中所有图像的 Manhattan 距离, 进行相似度度量, 完成图像检索实验。

为了评价算法的准确性, 采用平均查准率作为评价检索性能的衡量标准^[9]。其中每幅图像的查准率为:

$$h_i = \frac{n_{qi}}{n_i} \quad (13)$$

式中: n_{qi} 为实际检索到的与查询图像属于同一类的图像数目; n_i 为理论上文中采用的图像库中与查询图像属于同一类的图像数目。理论上图像库中有 15 幅(包括自身)图像与查询图像属于同一类, 因此 $n_i = 15$ 。平均查准率 η 定义为:

$$\eta = \frac{1}{M} \sum_i h_i, (i=1, 2, \dots, M) \quad (14)$$

其中, M 为图像数据库中的图像总数 ($M=15 \times 50 = 750$)。

文中对 GT 图像数据库还采用不同算法进行了对比实验来验证文中算法的有效性。把 GT 图像库图像做与文中提出算法相同尺度的 Contourlet 分解, 提取低频子带和各个高频子带的均值、标准差作为特征向量, 并采用与文中提出算法相同的相似度度量方法完成图像检索。还对同样的图像库采用参考文献[7-9]的算法进行了实验, 实验结果见表 1。

表 1 几种算法的平均查准率

Tab.1 Average retrieval rate of every algorithm

Average retrieval rate/ (%)	
Algorithm in reference 7	71.76
Algorithm in reference 8	61.85
Algorithm in reference 9	72.19
Algorithm using mean and standard deviation	71.91
Proposed algorithm	73.94

由表 1 可以看出, 文中算法的平均查准率最高, 可以达到 73.94%。

对表 1 的各种算法分别采用欧式距离法和 Manhattan 距离法进行相似度度量, 实验结果见表 2。

表 2 采用不同相似度度量方法的结果比较

Tab.2 Comparison of the results by using different similarity measures

Average retrieval rate (%)		
Similarity measure	Euclidean distance	Manhattan distance
Algorithm in reference 7	71.76	71.36
Algorithm in reference 8	61.85	63.44
Algorithm in reference 9	72.19	72.60
Algorithm using Mean and standard deviation	67.12	71.91
Proposed algorithm	73.04	73.94

由表 2 可以看出, 文中算法采用 Manhattan 距离进行相似度度量时得到的平均查准率可以达到 73.94%, 而采用欧式距离进行相似度度量时得到的平均查准率仅为 73.04%, 前者比后者高出了 0.90%。参考文献 7 的算法采用 Manhattan 距离进行相似度度量时得到的平均查准率比其使用欧氏距离进行相似度度量时得到的平均查准率低, 而其他三种算法前者均比后者高, 且分别高出了 1.59%, 0.41% 和 4.79%。

5 结 论

文中提出的算法首先对图像进行 Contourlet 分解得到低频子带与高频方向子带, 把低频子带的 Hu 特征矩和高频子带的均值、标准差作为特征向量, 采用 Manhattan 距离进行相似度度量完成图像检索。实验结果证明, 该算法有效地融合了图像的纹理特征与低频子带的形状特征, 平均查准率较高, 文中提出的算法采用 Manhattan 距离进行相似度度量的性能优于采用欧氏距离进行相似度度量的性能。

参 考 文 献:

- [1] Vassiliev a N S. Content-based image retrieval methods [J]. *Programming and Computer Software*, 2008, 35(3): 158-180.
- [2] Sun Junding, Zhao Shan. Image Low-level Feature Extraction and Image Retrieval [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009: 4-41.

- 孙君顶, 赵珊. 图像低层特征提取与检索技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 4-41.
- [3] Huang Xuexin, Yang Hengxin, Wang Wei. Image retrieval using spatial texture features [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2002, 31(6): 495-498. (in Chinese)
黄学新, 杨恒新, 王伟. 利用图像纹理特征的图像检索[J]. 红外与激光工程, 2002, 31(6): 495-498.
- [4] Mathieu Lamard, Guy Gazuguel, Gwenole Quellec, et al. Content based image retrieval based on wavelet transform coefficients distribution [C]//Conference Proceeding IEEE Eng Med Biol Soc, 2007, 4: 4532-4535.
- [5] Minh N Do, Martin Vetterli. Contourlets: a directional multiresolution image representation [J]. *Signal, Systems and Computers*, 2002, 1: 497-501.
- [6] Minh N Do, Martin Vetterli. The Contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2005, 14(12): 2091-2106.
- [7] Swapna Borde, Udhav Bhosle. Image retrieval using Contourlet transform [J]. *International Journal of Computer Applications*, 2011, 11(34): 37-43.
- [8] Guoyong Duan, Jing Yang, Yilong Yang. Content-based image retrieval research [J]. *Physics Procedia*, 2011, 22: 471-477.
- [9] Zhang Xiaojing, Wang Xuan. Image retrieval based on moment features in Contourlet domain [J]. *Computer Engineering*, 2010, 36(4): 213-214. (in Chinese)
张小景, 王暄. Contourlet 变换域中基于矩特征的图像检索 [J]. 计算机工程, 2010, 36(4): 213-214.
- [10] Lin Liyu, Zhang Youyan, Sun Tao, et al. Contourlet Transform the Application of Image Processing [M]. Beijing: Science Press, 2008: 28-30. (in Chinese)
林立宇, 张友炎, 孙涛, 等. Contourlet 变换-影像处理应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 28-30.
- [11] Yan Jingwen. Digital Image Processing [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2011: 195-197. (in Chinese)
闫敬文. 数字图像处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 195-197.
- [12] Dou Jianjun, Wen Jun, Liu Chongqing. Histogram-based color image retrieval [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, 34(1): 84-88. (in Chinese)
窦建军, 文俊, 刘重庆. 基于颜色直方图的图像检索技术 [J]. 红外与激光工程, 2005, 34(1): 84-88.
- [13] Srinvasa Ch, Srinivas Kumar S, Chatterji B N. Content based image retrieval using Contourlet transform [J]. *ICGST Journal*, 2007, 7(3): 9-15.