

基于纹理特征的自然图像鉴别方法^{*}

杨国庆, 崔荣一[†]

(延边大学 工学院 计算机科学与技术系 智能信息处理研究室, 吉林 延吉 133002)

摘要: 采用图像的纹理特性建立模型, 实现了自然图像和人工图像(主要是简笔画、表格、函数图像)的鉴别。首先, 计算两类图像的纹理特征, 统计并分析数据找出规律; 其次, 选择图像的平滑度、一致性和图像熵作为代表性的纹理特征, 组建数学模型; 最后, 利用三个特征的线性组合构成鉴别函数, 并用模拟退火算法确定权值。实验表明, 该方法可以很好地鉴别两类图像, 识别效率较高。

关键词: 自然图像; 人工图像; 纹理特征; 模拟退火

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)07-2783-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.07.109

Method for natural image discrimination based on texture feature

YANG Guo-qing, CUI Rong-yi[†]

(Intelligent Information Processing Lab, Dept. of Computer Science & Technology, College of Engineering, Yanbian University, Yanji Jilin 133002, China)

Abstract: This paper aimed to establish a model based on texture features of image for discriminating the natural images and artificial images, such as mainly stick figure, form, function image. Firstly, computed two types of image texture features, and counted and analyzed the data. And furthermore, selected the representative texture features, such as smoothness, consistency and image entropy, and established the mathematical models. Finally, composed the differential function by a linear combination of the three features, and used the simulated annealing to determine the value of the weights. The experiment results show that the method can discriminate the two types of images effectively, and has higher degree of accuracy.

Key words: natural image; artificial image; texture feature; simulated annealing

随着计算机技术的飞速发展, 很多过去利用计算机做不到的事情如今却变成了现实。复杂的计算机图形处理技术不仅可以对自然图像(natural images 或 natural scenes)进行修改, 还能制作出以假乱真的计算机图形(computer graphics, CG), 人们对这些照片很难识别其真假^[1,2], 并且对文档进行版面分析时, 自然图像、表格、函数图像的鉴别也是一项重要的任务。

文献[1]采用了基于直方图频域矩的鉴别方法, 将空间域转换到了频率域, 作者认为利用图像的统计特性鉴别图像是一种比较有前途的方法。文献[2]提出了一种基于小波高阶矩描述图像统计特性的鉴别方法。从这两种图像产生的机理来看, 自然图像和人工图像存在着一定的差异, 而图像的统计特性恰恰能够反映这些差异。用来描述图像特性的方法很多, 人们采用不同的特性作为特征分类函数已经取得了较好的效果。

1 自然图像的纹理描述

视觉或许是人类在生命中至为关键的感觉和体验之一, 视觉在人脑中的体现就是图像。在人类所感知的外界信息中, 大约 80% 的部分都来自于视觉。图像在人们的平时生活中无处不见, 它们包含了很多丰富的信息, 使信息的传递和交流变得更加明了。图像的分类有很多种, 按照图像数据的来源和采集方法, 图像可以分为自然图像和人工图像^[3,4]两大类。

定义 1 自然图像是能够在自然环境中观察到的图像, 通

过客观设备将真实世界的景物进行光学投影而得到的图形化结果, 如风景照、遥感图像、SAR 图像等。

自然图像的高阶统计特性服从非高斯分布, 并且自然图像还具有自相似性(尺度不变性)、边缘主导性(高维奇异性)^[3,4]。自然图像具有明显的尺度不变性, 就是说对图像进行放大或缩小操作时, 图像像素点的边缘分布不会发生变化。边缘在自然图像中占主导角色, David Donoho 经过进一步分析, 认为自然图像的非高斯性和尺度不变性都可以使用边缘主导的特性解释^[3]。

定义 2 人工图像是利用人为的手段, 经过人的主观意志, 利用图形产生工具制作的图像, 如计算机绘制的图形、画家的作品、手绘的表格和曲线等。虽然表格和曲线等鉴别时需要经过扫描, 经过了客观的光学设备的处理, 但基于语义的理解仍属人工图像。

直方图是图像的一种统计表达, 是图像分析中的一种重要工具^[5]。对一幅灰度图像, 其灰度统计直方图反映了该图中不同灰度级出现的统计情况。直方图的横轴表示不同的灰度级, 纵轴表示图像中的各个灰度级像素的个数。图像的视觉效果与其直方图有对应关系, 直方图形状的改变会对图像产生很大的影响。直方图是图像像素点出现的频数, 具有如下性质:

a) 表征了图像的一维信息, 只反映图像中像素不同灰度值出现的次数(或频数), 而未反映像素所在位置。

b) 与图像之间的关系是多对一的映射关系, 一幅图像能够

收稿日期: 2009-12-03; 修回日期: 2010-01-25 基金项目: 吉林省科技厅资助项目(20050703-1)

作者简介: 杨国庆(1982-), 男, 山东聊城人, 硕士研究生, 主要研究方向为智能信息处理; 崔荣一(1962-), 男(朝鲜族)(通信作者), 吉林延吉人, 教授, 硕导, 博士, 主要研究方向为模式识别、智能计算(cuirongyi@ybu.edu.cn)。

惟一确定与之对应的直方图,但不同图像可能有相同的直方图。

c)子图直方图之和为整图的直方图。

自然图像和人工图像在纹理上有一定的差别,描述纹理的最简单的方法之一就是使用一幅图像或区域灰度级直方图的统计矩。因此,对于一些常见的人工图像,可以利用直方图进行简单直观的判断。

图 1 是 6 幅图像及其对应的直方图,从图中可看出,自然图像的直方图较均衡平滑。有些人工图像(表格、文字图像、手绘图形)的直方图一般较集中在一点或两点上,而有些人工图像的直方图分布得也较均衡(如 CG 的直方图),但是有很多毛刺,因此,可以根据直方图进行粗分类。但是只利用空域中的直方图往往不能得到很好的分类结果。本文通过纹理特性中的平滑度、一致性和图像熵进行分类。

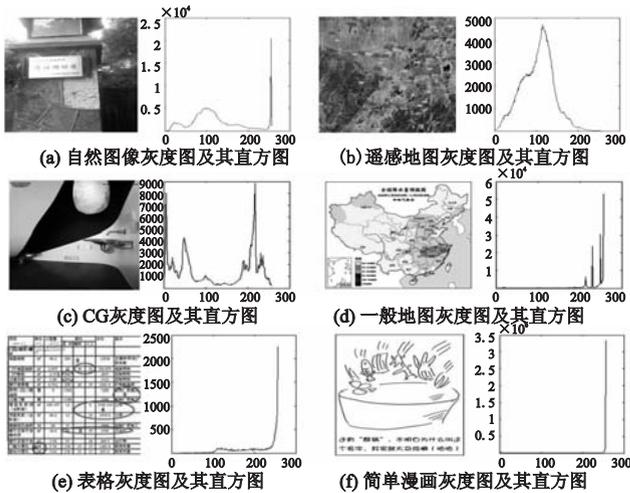


图1 各种图像及其直方图

2 几种纹理特性

2.1 图像熵

信息熵用来描述随机变量的不确定程度。图像熵是图像灰度级集合的比特平均数,也描述了图像信源的平均信息量。数字图像由像素点组成,不同亮度的像素在图像中占据不同区域,图像熵反映了图像的相似性,相似的图像熵也相近;图像熵同时还反映了图像的总体概貌,图像熵的差别对应着图像之间的视觉差别^[6],因此可以选择图像熵作为自然图像和人工图像的特征特性。

设 z 为一个代表灰度级的随机变量,并令 $p(z_i) (i=0,1,2,\dots,L-1)$ 为对应的直方图,其中 L 是可区分的灰度级数目,则图像熵 e 定义为

$$e = - \sum_{i=0}^{L-1} p(z_i) \log_2 p(z_i) \quad (1)$$

由熵的性质可知,等概率分布信源的平均不确定性最大,这时随机变量分布的不确定程度最大。自然图像是从自然界中获取的,人工图像是靠人的主观意念生成的,所以自然图像要比人工图像更复杂。

2.2 一致性

图像的边缘往往是包含图像信息最丰富的地方,有效的图像边缘具有以下特征:灰度突变、不同区域的边界以及方向性。一致性测度是图像边缘的领域差异程度的量,当所有灰度相等时,该度量最大并从此处开始减小^[7]。

令 $p(z_i) (i=0,1,2,\dots,L-1)$ 为对应的直方图,其中 L 是

可区分的灰度级数目,则一致性 U 定义为

$$U = \sum_{i=0}^{L-1} p^2(z_i) \quad (2)$$

从自然图像和人工图像产生的机理来看,自然图像在局部具有明显的纹理和其他局部特征^[8]。因此,一致性也可作为区分这两类图像的一个特征。

2.3 平滑度

二阶矩(方差 $\sigma^2(z) = \mu_2(z)$)是纹理特性的又一重要特性,它表示灰度级对比度的度量,可以建立有关平滑度的描述子,用式(3)表示:

$$R = 1 - \frac{1}{1 + \sigma^2(z)} \quad (3)$$

平滑度是区域中亮度的相对平滑度量。对于常亮度区域, $R=0$; 对于灰度级的值有较大偏移的区域, $R=1$ 。

2.4 纹理的综合描述

纹理描述最简单的方法之一是使用图像或区域灰度级直方图的统计矩。通过对自然图像和人工图像进行纹理分析可以看出,两者的纹理特性存在着较显著的差异,如表 1 和 2 所示。

表 1 16 幅人工图像的纹理度量

表 2 16 幅自然图像的纹理度量

图像	平滑度	一致性	熵
1	0.0126	0.0817	5.3462
2	0.0329	0.1021	5.0348
3	0.0263	0.2865	3.8381
4	0.0569	0.0098	7.2204
5	0.0210	0.0348	5.8619
6	0.0109	0.4839	2.6191
7	0.0501	0.1311	5.1241
8	0.0164	0.4960	2.5966
9	0.0144	0.3528	3.3737
10	0.0294	0.0531	5.8900
11	0.0171	0.0561	5.4789
12	0.0428	0.2880	4.1190
13	0.0252	0.0088	7.1409
14	0.0226	0.0981	4.8490
15	0.0094	0.2504	3.7254
16	0.0200	0.1267	4.9365
平均值	0.0255	0.1787	4.8222

图像	平滑度	一致性	熵
1	0.0743	0.0082	7.4366
2	0.0275	0.0071	7.3783
3	0.0336	0.0060	7.5318
4	0.0272	0.0072	7.3695
5	0.0476	0.1927	5.3005
6	0.0550	0.0046	7.8373
7	0.0785	0.0076	7.4405
8	0.0546	0.0044	7.8861
9	0.0849	0.0075	7.4718
10	0.0277	0.0100	7.0337
11	0.0458	0.0106	7.2243
12	0.0436	0.0072	7.3732
13	0.0712	0.0078	7.5396
14	0.0162	0.0091	7.0380
15	0.0149	0.0096	6.9741
16	0.0253	0.0070	7.3311
平均值	0.0455	0.0192	7.2604

综上所述,自然图像和人工图像在细小纹理等方面都有很大差异,这是因为自然图像的结构较为复杂,即使人工图像中的 CG 可达到很逼真的效果,也是按一定的模式产生的,所以人工图像包含的信息量往往要小于自然图像的信息量。

根据自然图像和人工图像在纹理特性上的不同统计特性,本文将平滑度、一致性和图像熵的线性组合作为判定自然图像和人工图像的准则函数,如式(4)所示:

$$I(w) = w_1 r + w_2 n + w_3 e \quad (4)$$

其中: r 、 n 、 e 分别代表平滑度、一致性和图像熵, $w_i (i=1,2,3)$ 是待确定权值,将利用模拟退火算法确定。

3 基于模拟退火的权值确定

3.1 模拟退火算法基本原理

模拟退火算法是模拟固体退火物理过程的仿生学算法。根据固体退火的原理,将固体加温至充分高,再让其徐徐冷却;加温时固体内部粒子随温度升高变为无序状,内能增大;而徐徐冷却时粒子渐趋有序;在每个温度都达到平衡态,最后在常温时达到基态,内能减为最小。根据 Metropolis 准则,粒子在温

度 T 时趋于平衡的概率为 $e^{-\Delta E/(kT)}$ 。其中 E 为温度 T 时的内能, ΔE 为其改变量, k 为 Boltzmann 常数。用固体退火模拟组合优化问题, 将内能 E 模拟为目标函数值 f , 温度 T 演化成控制参数 t , 即得到解组合优化问题的模拟退火算法: 由初始解 i 和控制参数初值 t 的初始值开始, 对当前解重复“产生新解→计算目标函数差→接受或舍弃”的迭代, 并逐步衰减 t 值, 算法终止时的当前解即为所得近似最优解, 这是基于蒙特卡罗迭代求解法的一种启发式随机搜索过程。

3.2 权值确定算法

利用模拟退火算法确定式(4)中权值的流程, 如图 2 所示。当算法结束时, 就可以记录 $I(w)$ 的最大值和达到最大时的权值 w 。算法描述如下:

- a) 初始化。设定初始温度 T_{start} 、终止温度 T_{end} 、迭代次数 L 、扰动幅度 N 和降温幅度 R 。
- b) 对每幅图像, 随机选取初始解 w , 每个 t 值下进行迭代运算。
- c) 迭代开始, 扰动产生新解 w' 。
- d) 计算变化量 $\Delta I = I(w') - I(w)$, 其中 $I(w)$ 为准则函数。
- e) 若 $\Delta I > 0$ 则接受 w' 作为新的当前解, 否则, 若 $\exp(-\Delta I/t) < \text{rand}([0, 1])$ 内的一个随机数, 则接受 w' 作为新的当前解;
- f) 迭代次数达到 L , $t = t \times R$, 若 $t \geq T_{end}$ 则转向 c), 否则算法结束, 得到最优解 w_1, w_2, w_3 。

4 实验结果及分析

利用模拟退火算法, 在自然图像集和人工图像集中, 分别对每种类型的图像进行训练, 记录下 I 值达到最大时的 w_1, w_2, w_3 的值。图 3 和 4 表示权值变化情况, 其中, “o”代表平滑度的权值变化, “-”代表一致性的权值变化, “*”代表熵的权值变化。训练完所有图像后, 计算两类图像 I 值的平均值和 w_1, w_2, w_3 的平均值, 用平均权值来测试图像, 求出测试图像的 I 值。表 3 所示的数据(只保留了整数部分)是从实验结果中任意取出的 10 个数据, 从表中可以看出, 自然图像和人工图像的 I 值差别较大, 人工图像的 I 值比较小。

对于测试图像得到的 I 值, 通过式(5)进行两类图像的差异度量:

$$S_i = |I_{test} - \bar{I}_i| \quad (5)$$

其中: $i = 1, 2, \bar{I}_i$ 是针对两类图像得到的平均值, I_{test} 是测试图像产生的 I 值。

若 $S_1 < S_2$, 则将该测试图像判为第一类, 否则判为第二类; 若 $S_1 = S_2$, 则无法识别该图像。

表 3 自然图像与人工图像的 I 值对比

自然图像 I 值	人工图像 I 值	自然图像 I 值	人工图像 I 值
3568	1399	3560	766
3656	582	3445	2295
3463	841	-	-

实验 1 20 幅图像中有 18 幅自然图像和 2 幅 CG, 其中自然图像全部识别正确, CG 图像识别错误, 主要原因是所选 CG 和自然图像很相像。

实验 2 14 幅人工图像中有 13 幅非 CG 图像和 1 幅 CG 图像, 识别错误的是一幅非 CG 图像, 该图像内容比较丰富, 很接近自然图像, 造成了误分类。

实验 3 16 幅图像中有 2 幅 CG, 有 1 幅出现了鉴别错误, 主要是因为 CG 和自然图像很相似。

实验结果如表 4 所示。从实验结果来看, 三组实验都得到了很好的效果, 实现了自然图像和人工图像(简笔画、表格、函数图像)的鉴别。通过实验也充分证明了该方法的可靠性。

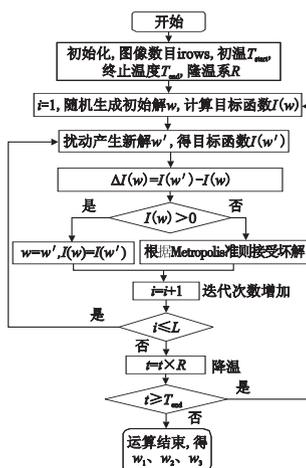


图 2 确定权值的流程图

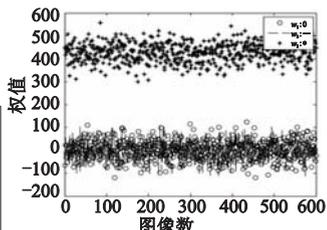


图 3 600幅自然图像的三个权值变化

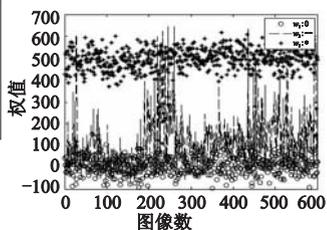


图 4 600幅人工图像的三个权值变化

表 4 实验结果

实验	图像数量	自然图像		人工图像		正确率/%
		识别正确	识别错误	识别正确	识别错误	
1	20	18	0	0	2	90.00
2	14	0	0	13	1	92.86
3	16	7	0	8	1	93.75

5 结束语

纹理特性是图像的一种统计特性, 每幅图像的纹理特性都不尽相同。这种性质在图像的直方图中有较好的反映, 通过实验也验证了这一点。因此, 根据图像的统计特性, 本文提出了一种利用图像纹理特性鉴别自然图像和人工图像的方法, 该方法将两类图像的多种特性联系在一起, 建立数学模型, 利用模拟退火算法找出目标函数的权值。实验证明, 该方法能够做到自然图像和人工图像的鉴别, 得到了较好的分类效果。

本文中鉴别的是一些图像信息较简单的人工图像(简笔画、表格、函数图像等), 对有些内容丰富以及与自然图像接近的人工图像(如 CG)的识别效果不太好, 对这些图像的鉴别方法是在下一步研究工作要进一步研究的问题。

参考文献:

- [1] CHEN W, SHI Y Q, XUAN G R. Identifying computer graphics using HSV color model and statistical moments of characteristic functions[C]//Proc of IEEE International Conference on Multimedia and Expo. 2007:2-3.
- [2] LYU S, FARID H. How realistic is photorealistic[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2005, 53(2):845-850.
- [3] 谭郁松. 自然图像处理理论和方法研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2004.
- [4] 罗四维. 视觉感知系统信息处理理论[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.
- [5] 刘伟, 潘毅, 张宏, 等. 自然图像认知阈值的度量[J]. 浙江大学学报:理学版, 2008, 35(3):319-320.
- [6] 魏伟一, 张贵仓, 张国治. 一种基于图像熵及分形维矢量的图像检索技术[J]. 西北师范大学学报:自然科学版, 2006, 42(1):32-33.
- [7] 张震, 边玉琨, 平西建, 等. 基于统计量的计算机图形检测模型[J]. 计算机工程, 2009, 35(15):25-26.
- [8] 韩东, 黄山. 运用一致性测度分割砚花图像[J]. 现代电子, 2006, 217(2):29-30.