

颜色直方图在基于内容的遥感影像检索中的比较分析^①

Comparison and Analysis of Color Histogram in Content-Based Remote Sensing Image Retrieval

解洪胜 (中华女子学院山东分院 计算机系 山东 济南 250300)

王连国 (中国矿业大学 理学院 江苏 徐州 221008)

摘要: 本文主要针对颜色直方图在基于内容的图像检索中的应用效果进行实验分析和性能比较。分别在 RGB 和 HSV 颜色空间中共构造了 6 类不同量化方式的直方图, 并采用特征向量相似性度量和概率相似性度量方式对其进行了遥感影像的检索实验和查准率比较, 实验结果表明记为 Q4096 和 Q256 的两种直方图在基于 x^2 统计距离下的检索查准率较高, 期望为基于颜色特征进行图像内容检索的应用提供参考。

关键词: 基于内容的图像检索 颜色直方图 颜色空间 查准率

1 引言

基于内容的图像检索(Content based Image Retrieval, CBIR)是通过计算机自动提取图像的颜色、纹理、形状等视觉特征对其建立索引, 基于特征相似性度量进行近似匹配的一种高效信息检索技术^[1]。其中, 颜色特征的提取和应用在 CBIR 技术的早期发展中占有非常重要的地位, 得到研究人员的高度重视并提出了一些行之有效的特征提取及度量方法, 主要有颜色直方图、颜色矩、聚合向量、相关图等代表方法^[2,3], 其中直方图方法具有提取和计算简单的特点得到了广泛应用和研究, 后来累积直方图、局部累加直方图等改进方法被陆续提出。

基于颜色直方图的检索方法最早由 Swain 和 Ballard 提出, 利用直方图的相交来度量图像间颜色的相似性^[4], 其检索步骤是首先选择颜色空间并进行量化, 然后是计算生成直方图、定义直方图的度量函数, 最后根据与查询图像的相似性程度返回检索结果。IBM 的 QBIC 系统就采用了彩色直方图, 并利用直方

图二次距离度量图像间的相似性, 取得了较好的检索效果。一些典型系统如美国哥伦比亚大学的 VisualSEEK、MIT 的 PhotoBook 和美国 Illinois 大学 Urbana-Champaign 分校的 MARS 等都有颜色直方图的检索功能^[5]。因此, 进一步研究颜色直方图的构造及应用对促进 CBIR 技术的发展十分重要, 本文首先对颜色直方图的概念及其空间模型的选择和量化进行简要介绍, 然后通过两个实验对几种典型的颜色直方图的检索性能进行了对比和分析。

2 颜色空间

颜色空间是根据像素亮度值来表示颜色的一种抽象数学模型^[6], 常用的颜色空间模型有: RGB、CMY、HIS、HSV、C.LE 的 $L^* u^* v^*$ 和 $L^* a^* b^*$ 等。

2.1 RGB 颜色空间模型

RGB 是最常用的颜色空间, 其中, 红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色组成的最基本的加性空间。在 RGB 的三维颜色空间中, 三个坐标轴分别代表红、绿、蓝三基色,

^① 基金项目:国家自然科学基金重大项目(50490270);国家杰出青年科学基金(50225414)
收稿时间:2008-11-08

原点对应黑色，离原点最远的顶点对应白色，如图 1 所示。在这个模型中，从黑到白的灰度值分布在从原点到最远顶点的连线上，在对角线上的 R、G、B 值是相同的灰度值，而立方体内其余点对应不同的颜色。对于彩色 RGB 图像，可通过下面的公式变为灰度图像，灰度 Gray 定义为：

$$\text{Gray} = 0.299 \times R + 0.587 \times G + 0.114 \times B \quad (1)$$

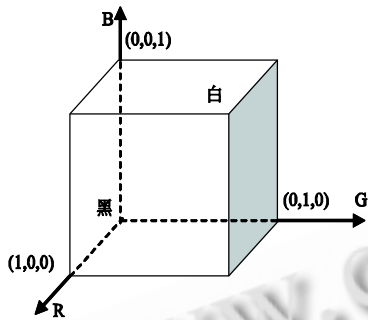


图 1 RGB 颜色空间图示

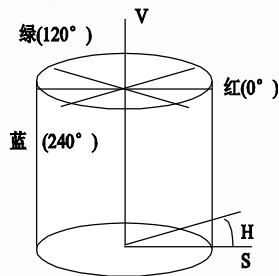


图 2 HSV 颜色空间图示

2.2 HSV 颜色空间模型

HSV 模型与人类对颜色的感知比较接近，HSV 颜色空间由色调 H(Hue, $0 \leq H \leq 360^\circ$)、饱和度 S(Saturation, $0 \leq S \leq 1$)、亮度 V(Value, $0 \leq V \leq 1$) 三个正交分量组成，如图 2 所示。RGB 模型的可分辨色差是非线性的，不具有视觉一致的属性，即在颜色空间中距离相等的两组颜色，与人所感知到的两组颜色的视觉差不同。而 HSV 模型具有线性伸缩性，可感知的颜色差与颜色分量相应值的欧氏距离成比例。RGB 与 HSV 模型之间可根据定义公式相互进行转换。

3 颜色直方图

在基于颜色特征的图像检索中，比较关键的内容有：一是选取合适的颜色模型；二是颜色空间的量化

及图像颜色特征的表达；三是定义计算两个图像特征间的相似度标准。

3.1 颜色直方图的定义

颜色直方图可看作是一种颜色在给定空间的概率分布，如图 3 中右侧三幅图形分别是最左侧图像在 RGB 空间中分量 R、G、B 的统计直方图。一幅包含 N 个像素的图像 I 在给定颜色空间中量化为 n 个 bins 的颜色直方图可表示为：

$$H(I) = [h_1, h_2, \dots, h_n] \quad (2)$$

其中， h_i 表示一个像素属于第 i 个 bin 的概率，定义为：

$$h_i = \sum_{j=1}^N P_{ij} P_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P_{ij} \quad (3)$$

其中， P_j 表示从图像 I 中选择第 j 个像素的概率； P_{ij} 代表了第 j 个像素属于第 i 个 bin 的条件概率，其定义为：

$$P_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{如果第 } j \text{ 个像素属于第 } i \text{ 个 bin} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (4)$$

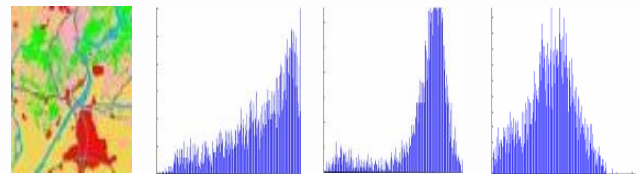


图 3 RGB 颜色统计直方图示意图

3.2 直方图的构造

Smith 提出了在 HSV 空间的 166 色量化方法^[7]；文献^[8]在 HSV 空间将 H、S 和 V 三个分量根据人对颜色的感知进行了非等间隔量化，采用将色调 H 换成角度制分成 16 级，饱和度 S 和亮度 V 分别分成 3 级的量化方法。本文实验中分别基于 RGB 和 HSV 空间模型进行图像颜色量化生成了不同维度的统计颜色直方图。

RGB 空间量化：在 RGB 颜色空间对 R、G、B 分量进行了两种方式的均匀量化，分别生成了 512($R \times G \times B = 8 \times 8 \times 8$)维和 4096($R \times G \times B = 16 \times 16 \times 16$)维的颜色直方图，分别记为 Q512 和 Q4096。

HSV 空间量化：在 HSV 颜色空间对 H、S、V 分量分别进行了非均匀量化，并生成了两种 72 维颜色直方图，分别记为 Q833 和 Q1822；一种 162 维和 256 维的颜色直方图，分别记为 Q162 和 Q256。其中，

生成 72 维颜色直方图的两种量化方式分别是 Q833 是将 H 非均匀量化为 16 级, 将 S 和 V 分别量化为 3 级, 然后按公式 $F=9 \times H+3 \times S+V$ 合成一个 72 维特征向量; Q1822 是将 H 量化为 18 级, 将 S 和 V 分别量化为 2 级, 然后按公式 $F=4 \times H+2 \times S+V$ 合成一个 72 维特征向量。162 维颜色直方图是将 H 量化为 18 级, 将 S 和 V 分别量化为 3 级, 然后按公式 $F=9 \times H+3 \times S+V$ 合成一个 162 维的特征向量, 记为 Q162; 256 是维颜色直方图将 H 量化为 16 级, 将 S 和 V 分别量化为 4 级, 最后根据公式 $F=16 \times H+4 \times S+V$ 合成一个 256 维的特征向量, 记为 Q256。

3.3 直方图相似性度量

直方图的度量可分为基于特征向量的相似性度量如直方图相交、Minkowski 距离等和基于概率的相似性度量如 χ^2 统计距离^[9]。假设查询图像 P 和数据库中图像 Q 根据某种量化方式构造的特征向量分别为 p 和 q, 下面主要对本文使用的度量方法进行简要介绍。

①直方图相交:

$$d(p, q) = \sum_{i=1}^n \min(p_i, q_i) \quad (5)$$

②Minkowsky 距离:

$$d^{(k)}(p, q) = \left[\sum_{i=1}^n |p_i - q_i|^k \right]^{\frac{1}{k}}, \quad k \geq 1 \quad (6)$$

当 $k=1$ 时即街区距离 L_1 、当 $k=2$ 时即欧氏距离 L_2 、 $k=\infty$ 时即支配距离 L_∞ 。

③ χ^2 统计距离:

$$D(x, y) = \sum_{i=1}^d \frac{x^2[i] - y^2[i]}{y[i]} \quad (7)$$

其中 X, Y 非负, 且 $\sum_{i=1}^d x[i]=1, \sum_{i=1}^d y[i]=1$ 。

4 实验一结果与分析

4.1 实验数据集

本实验数据由加州大学信号与图像处理实验室网站提供^[10], 包括 38 幅 TIFF 格式遥感影像, 其中有 12 幅是 512×512 , 25 幅是 1024×1024 , 一幅是 2250×2250 。从中选择了 15 幅 1024×1024 和 1 幅 2250×2250 的彩色影像, 如图 4 所示。为了表示和实验的需要, 将这 16 幅影像从左到右、从上到下依次编号为, 其中是 infra-red 遥感影像。这些

影像主要来自于美国的圣地亚哥、旧金山等地港口和林地等地物。本文将 16 幅彩色影像分别不重叠分割为 128×128 的图像块, 组成一个包含 1146 幅 128×128 大小图像的图像库用于实验。

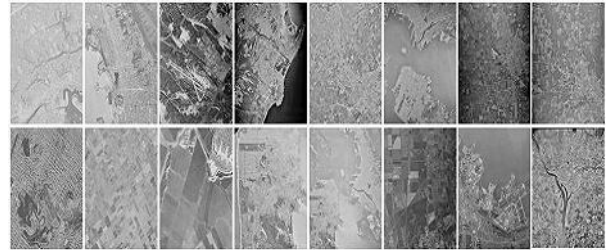


图 4 实验一所用遥感影像

4.2 实验过程与结果分析

假设给定一幅查询影像, 系统从图像数据库中查找与其相似图像, 并按照相似性距离从小到大返回检索结果。对系统检索效果的评价指标采用返回检索结果中前 30 幅影像中正确影像数所占比例, 记为 P(30)。对每一类遥感影像从中随机选择 10 幅进行查询, 计算 10 次检索查准率的平均值作为该类图像检索性能指标。实验利用 3.3 节介绍的度量方式对检索效果进行了比较。表 1 给出了所选 16 幅影像分别基于两种统计距离进行 10 次检索的平均查准率, 因为采用、及直方图相交距离的检索效果明显不如上述两种度量方式, 故不再列出。图 5 是 RGB 空间 Q4096 和 HSV 空间 Q256 直方图基于距离的查准率比较示意图; 图 6 是 RGB 空间 Q4096 和 HSV 空间 Q256 直方图查准率比较示意图。

由实验结果看, 基于 L_2 、 L_∞ 及直方图相交的平均查准率明显低于 L_1 和 χ^2 统计距离。由表 1 可看出, 所有量化方式在基于 χ^2 统计距离度量下的检索效果都好于在 L_1 方式下。在 χ^2 统计距离度量空间, 16 幅遥感影像基于 RGB 空间 Q4096 量化方式的平均查准率最高, 在 78% 左右; 其次是在 HSV 空间的 Q256 量化方式, 其平均查准率达到 77% 左右, 但 Q4096 量化方式的存储空间大约是 Q256 量化方式的 4 倍左右, 且 Q4096 量化方式计算复杂度更高, 导致检索效率明显低于 HSV 的 Q256 方式。所以, 从存储开销、检索效率以及查确率几方面综合考虑, 基于 HSV 空间的 Q256 量化方式生成的直方图进行检索的方式最为可取。

表 1 实验一遥感影像的平均查准率结果

图像名称	L_1 距离					χ^2 统计距离				
	Q 1822	Q 162	Q 256	Q 512	Q 4096	Q 1822	Q 162	Q 256	Q 512	Q 4096
R1	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
R2	0.70	0.53	0.50	0.47	0.43	0.72	0.63	0.50	0.50	0.47
R3	0.83	0.53	0.73	0.80	0.83	0.87	0.80	0.87	0.80	0.80
R4	0.37	0.90	0.87	0.97	0.97	0.37	0.91	0.90	0.97	0.97
R5	0.43	0.40	0.37	0.30	0.30	0.50	0.53	0.40	0.32	0.34
R6	0.37	0.40	0.27	0.37	0.37	0.63	0.63	0.47	0.40	0.43
R7	0.77	0.80	0.73	0.53	0.73	0.83	0.83	0.80	0.67	0.77
R8	0.97	0.67	0.90	1.00	1.00	1.00	0.73	0.93	1.00	1.00
R9	0.80	1.00	0.97	0.97	1.00	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00
R10	0.60	0.67	0.87	0.63	0.70	0.80	0.80	0.90	0.63	0.73
R11	0.57	0.63	0.53	0.67	0.80	0.60	0.67	0.77	0.73	0.83
R12	0.63	0.53	0.43	0.50	0.50	0.67	0.57	0.47	0.53	0.53
R13	0.70	0.80	0.60	0.63	0.67	0.77	0.87	0.73	0.80	0.77
R14	0.53	0.50	0.67	0.87	0.90	0.77	0.53	0.70	0.90	0.93
R15	0.47	0.56	0.72	0.82	0.82	0.50	0.60	0.84	0.86	0.84
R16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Av	0.67	0.68	0.70	0.72	0.75	0.74	0.76	0.77	0.76	0.78

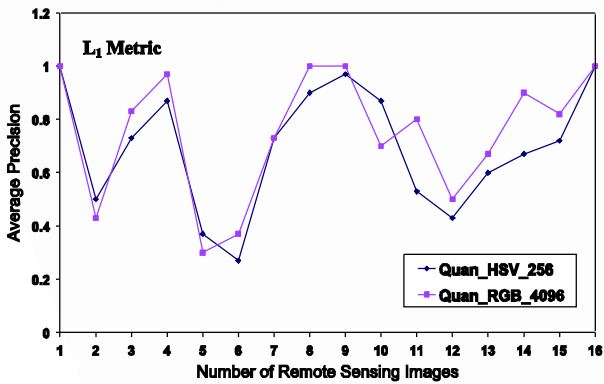


图 5 十六类遥感影像基于 L1 距离的平均查准率

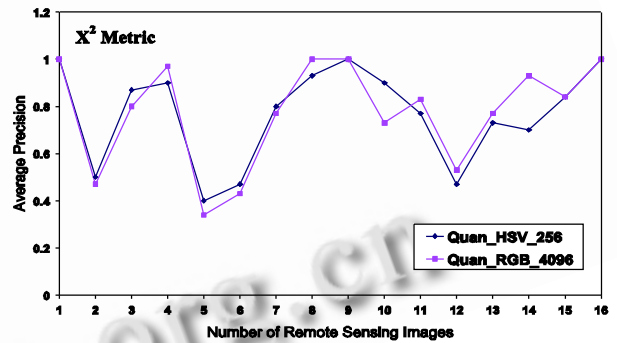


图 6 十六类遥感影像基于 χ^2 距离的平均查准率

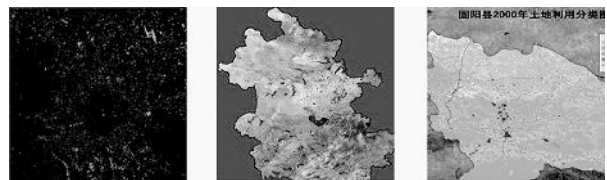
5 实验二结果与分析

5.1 实验数据集

实验应用三幅 TM 影像，见图 7，图(a)是北京市居民点用地变化图，包括原居民点用地、新扩展居民点用地及农业用地；图(b)是安徽省遥感卫星影像图，图中按不同颜色标记了城镇、道路、平原等地物信息；图(c)是固阳县 2000 年土地利用状况分类提取遥感影像图，图中包含耕地、草地及盐碱地等地物的分布。根据实验需要，将上述三幅遥感影像分别不重叠地分割为 128×128 的图像块，排除掉一些图像边缘区域生成的无代表意义的图像斑块，剩余的组成一个包含 200 幅 128×128 大小图像块的实验图像库。

5.2 实验与结果分析

实验从图 8 所示影像中选择某类地物检索，系统从影像数据库中查找与目标地物相似的影像，并按照相似性距离从小到大顺序返回检索结果。图 8 中所示图像是从图 7 的影像中根据地物属性提取的，不是系统分割的结果图像。用返回的前 30 幅图像的查准率



(a)北京市 (b)安徽省 (c)固阳县

图 7 实验二所用 TM 遥感影像

作为对评价指标。因基于 x^2 统计距离在实验一中的检索效果最好,所以,本实验只用 x^2 统计距离进行检索。图 9 是采用 Q4096 量化方式、基于 x^2 统计距离检索图 8 中的盐碱地(即第三幅图像)返回的前 15 幅最相似影像的结果;图 10 给出 7 种目标地物在 x^2 统计距离度量下基于六种颜色直方图进行检索的查准率比较示意图。

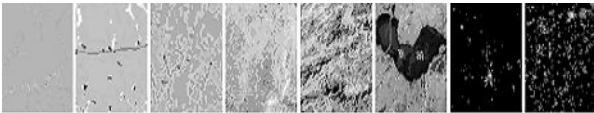


图 8 部分取自图 7 中三幅遥感影像的样本

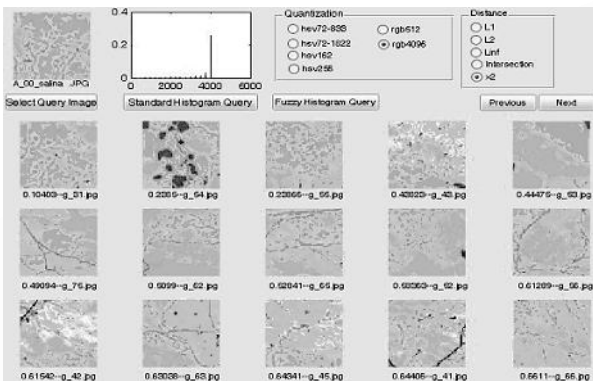


图 9 检索盐碱地的返回结果

从图 10 可以看出,基于 x^2 统计距离度量方式下,所有地物在 RGB 空间的 Q4096 量化方式和 HSV 空间的 Q256 量化方式的检索效果明显优于其它量化方式,并且所有地物在这两种方式的查准率没有出现太大波动,但其它几种量化方式对个别地物的查准率相差很大,说明 Q4096 和 Q256 相对于其它量化方式更好地描述了本文所用遥感影像的内容。

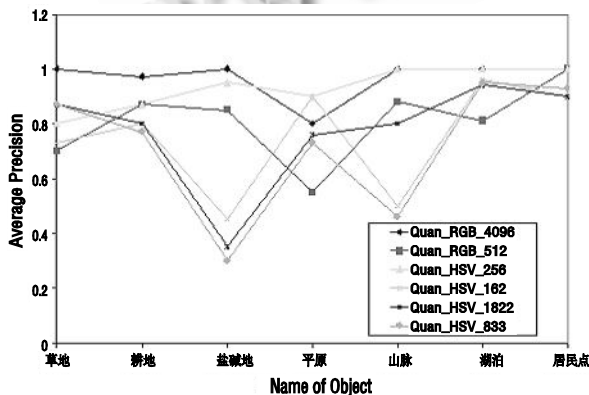


图 10 七种地物在 x^2 统计距离度量下查准率比较结果

6 结论

本文对颜色直方图利用遥感影像对在 RGB 和 HSV 颜色空间量化生成的 6 种不同的颜色直方图,基于不同的相似性度量进行了检索实验和性能评价,结果发现基于 x^2 统计距离的检索效果最佳,在 RGB 空间 4096 级和 HSV 空间 256 级量化方式生成的直方图的检索精度明显高于其它量化方法。

下一步将对高维度颜色直方图进行非线性降维后在基于内容的图像检索应用中的效果从理论和实用层面上进行深入研究。

参考文献

- 1 Smeulders AWM, Worring M, Santini S, et al. Content-based image retrieval at the end of the early years. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000,22(12):1349 – 1380.
- 2 Stricker M, Orengo M. Similarity of color images. Proc. SPIE Storage and Retrieval for Image and Video Databases, 1995,2420:381 – 392.
- 3 Pass G, Zabih R, et al. Comparing images using color coherence vectors. Proceedings of ACM Multimedia, Boston, Massachusetts, USA, 1996:65 – 73.
- 4 Swain MJ, Ballard DH. Color Indexing. International Journal of Computer Vision, 1991,7(1):11 – 32.
- 5 章毓晋.基于内容的视觉信息检索.北京:科学出版社, 2003.
- 6 Wang JZ. Integrated Region-Based Image Retrieval, Boston, Kluwer Academic publishers, 2001.
- 7 Smith JR. Integrated spatial and feature image systems: Retrieval, analysis and compression. New York: Columbia University, 1997.
- 8 Smith JR, Chang SF. Tools and Techniques for color image retrieval. SPIE Proceedings, Vo1.2670, Storage and Retrieval for Image and Video Databases IV, 1995.
- 9 包倩,郭平.基于直方图的遥感图像相似性检索方法比较.遥感学报, 2006,10(6):893 – 900.
- 10 USC Signal and Image Processing Institute at <http://sipi.usc.edu/services/database>.