

基于视觉权值的分块颜色直方图 图像检索算法

王向阳¹ 杨红颖¹ 郑宏亮¹ 吴俊峰¹

摘要 为了进一步提高基于颜色直方图的图像检索系统工作效率, 本文以人眼视觉感知特性为基础, 结合局部图像相关性, 提出了一种基于视觉权值的分块颜色直方图图像检索新方法. 该方法首先对图像进行分块处理, 并计算出图像子块的颜色直方图; 然后结合反映局部区域变化的像素点颜色复杂度, 计算出图像子块的视觉权值; 最后利用视觉权值对子块颜色直方图进行加权处理, 并根据加权颜色直方图进行图像检索. 仿真实验结果表明, 本文算法能够准确和高效地查找出用户所需内容的彩色图像, 并且具有较好的查准率和查全率.

关键词 图像检索, 分块颜色直方图, 颜色复杂度, 视觉权值

DOI 10.3724/SP.J.1004.2010.01489

A Color Block-histogram Image Retrieval Based on Visual Weight

WANG Xiang-Yang¹ YANG Hong-Ying¹
ZHENG Hong-Liang¹ WU Jun-Feng¹

Abstract According to the human visual system (HVS), a color block-histogram image retrieval method based on visual weight is proposed in this paper. First, the image is split into blocks and the color block histograms are formed. Second, the color complexity measure (CCM) of pixels are calculated to reflect the image local variation, and the visual weights for sub-block images are calculated. Finally, all color block histograms are weighted by the visual weight, and the similarity between color images is computed by using the weighted color block histogram. Experiments, including comparison with state-of-the-arts, show the effectiveness of our algorithm in improving the retrieval performance.

Key words Image retrieval, color block-histogram, color complexity measure (CCM), visual weight

基于颜色的图像查询是基于内容的图像检索中最基本和最重要的方法^[1]. 其中, 颜色直方图更是以其特征提取与相似度计算简单和对图像尺度与旋转变化的不敏感等优点, 成为图像检索系统应用最为广泛的颜色特征. 但传统颜色直方图检索技术普遍存在丢失颜色空间分布信息, 特征维数过高等问题^[2]. 为了有效克服其所存在的弊端, 许多专家学者开展了一系列卓有成效的研究工作^[1-4]. Saykol 等^[5] 采用距离角度直方图方法, 统计了每一种颜色在特定距离和角度内的颜色直方图. Li^[6] 提出了一种基于分块颜色直方图的图像检索方案, 其首先将整幅图像分成若干子块, 并为每个子块指定权值, 然后分别统计子块颜色特征, 同时结合权值计算相似度并进行图像检索. 由于该方案考虑了颜色空间分布特性,

收稿日期 2010-03-01 录用日期 2010-05-11

Manuscript received March 1, 2010; accepted May 11, 2010

国家自然科学基金 (60773031, 60873222), 计算机软件新技术国家重点实验室 (南京大学) 开放基金 (A200702) 资助

Supported by National Natural Science Foundation of China (60773031, 60873222) and Opening Foundation of State Key Laboratory for Novel Software Technology in Nanjing University (A200702)

1. 辽宁师范大学计算机与信息技术学院 大连 116029

1. School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029

故检索性能得到了改善,但其存在以下不足: 1) 所采纳的中心区域(子块)最重要假设与实际图像不相符合; 2) 确定子块权值时仅仅考虑到了图像中心的距离,未能充分重视局部图像相关特性,降低了系统工作性能。

本文以人眼视觉感知特性为基础,结合局部图像相关性,提出了一种基于视觉权值的分块颜色直方图图像检索新方法。该方法首先对图像进行分块处理,并计算出图像子块的颜色直方图;然后结合反映局部区域变化的像素点颜色复杂度,计算出图像子块的视觉权值;最后利用视觉权值对子块颜色直方图进行加权处理,并根据加权颜色直方图进行图像检索。

1 像素点颜色复杂度与视觉权值的计算

一般说来,计算图像像素点的颜色复杂度与视觉权值必须在特定的颜色空间内进行^[2,7],本文将选用更加符合人眼视觉感知特性的 CIELab 颜色空间。考虑到颜色复杂度与视觉权值计算均涉及像素点差异性统计问题,但在 CIELab 颜色空间下,如果两个像素点的欧氏距离很小,则人的视觉感知系统很难分辨出两像素点间的差异,即人类视觉感知系统仅能觉察欧氏距离较大的两个像素点。为此,有必要给出如下全新的 CIELab 颜色空间中像素点间的差异性计算方法,即:

$$E(c(i, j), c(x, y)) = \sqrt{(L_{ij} - L_{xy})^2 + (a_{ij} - a_{xy})^2 + (b_{ij} - b_{xy})^2} \quad (1)$$

$$D(c(i, j), c(x, y)) = 1 - \exp\left[-\frac{E(c(i, j), c(x, y))}{\gamma}\right] \quad (2)$$

其中, γ 是常量(一般取 14), $E(c(i, j), c(x, y))$ 是定义在 CIELab 颜色空间中的欧氏距离, $D(c(i, j), c(x, y))$ 为 CIELab 颜色空间中像素点间的差异性计算方法(像素点间距离), (L_{ij}, a_{ij}, b_{ij}) 和 (L_{xy}, a_{xy}, b_{xy}) 分别为像素点 (i, j) 和 (x, y) 在 CIELab 空间中的颜色分量。

为计算图像像素点 (i, j) 的颜色复杂度与视觉权值,我们需首先构造出像素点 (i, j) 的局部邻近区域 Ω 。构造像素点局部邻近区域的方法有很多,用户完全可以根据需要自由选取,本文选取以点 (i, j) 为中心的 8 个像素点为邻近区域 Ω ,如图 1 所示。

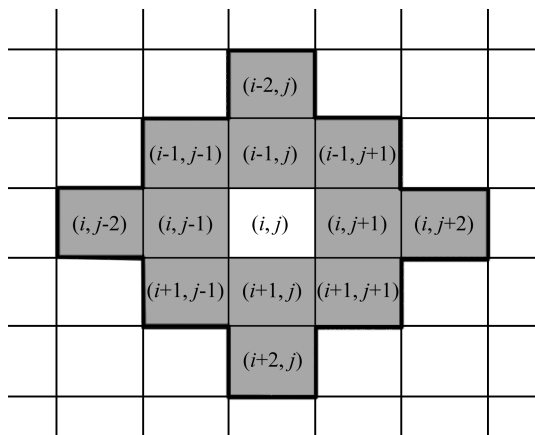


图 1 像素点的局部邻近区域
Fig. 1 The local neighboring region of pixel

在得到像素点 (i, j) 的相关邻近区域 Ω 后,可以利用如下公式计算出该邻近区域的颜色平均值,即

$$\bar{c}(i, j) = \frac{1}{N} \sum_{x, y \in \Omega(i, j)} c(x, y) \quad (3)$$

其中, N 是以像素点 (i, j) 为中心的邻近区域所含像素点个数, Ω 是以像素点 (i, j) 为中心的邻近区域, $c(x, y)$ 是点 (x, y) 的颜色值。当求得该区域的颜色平均值后,便可以根据如下公式计算出像素点 (i, j) 的颜色复杂度(Color complexity measure, CCM) 值

$$\varphi(i, j) = \int \int_{x, y \in \Omega(i, j)} G_{\alpha}(\|c(x, y) - \bar{c}(i, j)\|) dx dy \quad (4)$$

其中,颜色复杂度 $\varphi(i, j)$ 表示人眼视觉系统对像素点 (i, j) 的敏感程度, G_{α} 是高斯权值, $\bar{c}(i, j)$ 是邻近区域 Ω 的颜色平均值。颜色复杂度越大,说明邻近区域 Ω 有着更大的色彩变化;反之,颜色复杂度越小,说明邻近区域 Ω 内色彩变化更小,即该邻近区域内的像素点相似度很大。

进一步,可将 CCM 计算公式改写为

$$\varphi(i, j) = \int \int_{x, y \in \Omega(i, j)} G_{\alpha}(\|c(x, y) - \bar{c}(i, j)\|) dx dy = \sum_{x, y \in \Omega} G_{\alpha} \left[1 - \exp\left[-\frac{E(c(i, j), c(x, y))}{\lambda}\right] \right] \quad (5)$$

利用所得到的 CCM,可以按照如下公式计算出每个像素点的视觉权值^[7],即

$$w(i, j) = w(\varphi(i, j)) = \rho \left[\frac{\varphi(i, j)}{\int \int_{x, y \in I} \varphi(x, y) dx dy}, \sigma \right] \quad (6)$$

其中, I 代表整个图像区域,且有

$$\rho(x, \sigma) = k \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

需要指出的是,在实际应用过程中,常常需要将所有像素点的视觉权值归一化到 $[0, 1]$ 区间,于是像素点 (i, j) 的视觉权值 $w(i, j)$ 可表示为

$$w(i, j) = w(\varphi(i, j)) = \rho \left[\frac{\varphi(i, j)}{\int \int_{x, y \in I} \varphi(x, y) dx dy}, \sigma \right] = k \cdot \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \left[\frac{\varphi(i, j)}{\int \int_{x, y \in I} \varphi(x, y) dx dy} \right]^2\right] \quad (8)$$

2 基于视觉权值的分块颜色直方图图像检索

本文以人眼视觉感知特性为基础,结合局部图像相关性,提出了一种基于视觉权值的分块颜色直方图图像检索新方法。该方法首先对图像进行分块处理,并计算出图像子块的颜色直方图;然后结合反映局部区域变化的像素点颜色复杂度,计算出图像子块的视觉权值;最后利用视觉权值对子块颜色直方图进行加权处理,并根据加权颜色直方图进行图像检索。

2.1 彩色图像的量化处理

从理论上讲, 直接利用真彩色图像进行特征抽取和图像检索将产生最小的误差, 但却会导致计算时间及存储空间迅速膨胀, 因此采用真彩色进行图像检索不利于实际应用. 事实上, 一幅图像内所包含的实际颜色数只是全部颜色数一个很小的子集, 而且进一步观察也表明, 图像内的实际颜色中若干主要色彩覆盖了其中的绝大多数像素. 如果以这些主要色彩来表示图像, 尽管图像质量会有所下降, 但并不影响人们对图像内容的正确理解.

本文在符合人眼视觉系统 (Human visual system, HVS) 的空间内, 采纳了简单快捷的查色表 (Color-lookup table) 颜色量化技术^[2]. 同时, 将量化后的 H 、 S 、 V 三个颜色分量组合成一维特征颜色分量 L , 并用于特征提取.

$$L = \begin{cases} 0, & \text{若 } V < 0.2 \\ \left\lceil \frac{7(V - 0.2)}{0.8} \right\rceil, & \text{若 } S < 0.2, V \geq 0.2 \\ 4H + 2S + V + 8, & \text{否则} \end{cases} \quad (9)$$

其中, $\lceil x \rceil$ 表示不小于 “ x ” 的最小整数.

2.2 图像子块颜色直方图的提取

将一维特征颜色分量 L 平均划分成 $m \times n$ 个图像子块 B_i ($i = 1, 2, \dots, m \times n$), 同时计算出每个图像子块的颜色直方图并作为该子块的颜色特征 P_i ($i = 1, 2, \dots, m \times n$)

$$P_i = H(i) \quad (10)$$

其中, $H(i)$ 表示第 i 图像子块 B_i 的归一化颜色直方图.

将所有图像子块的特征向量 P_i 合并在一起, 即可得到原始图像的综合颜色特征向量 P

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_{m \times n}) \quad (11)$$

2.3 图像子块视觉权值的提取

根据像素点的颜色复杂度及视觉权值计算方法 (参见第 1 节), 统计出图像子块 B_k ($k = 1, 2, \dots, m \times n$) 内像素点的视觉权值和, 并将其作为图像子块 B_k 的视觉权值 W_k

$$W_k = \sum_{(i,j) \in B_k} w(i,j) \quad (12)$$

其中, W_k 表示图像子块 B_k 的视觉权值, $w(i,j)$ 表示像素点 (i,j) 的视觉权值.

2.4 图像的相似性计算

本文采用直方图相交距离计算示例图像 Q 与数据库图像 I 之间归一化特征的相似程度. 显然, 当示例图像 Q 与数据库图像 I 的直方图相交距离 $S = 1$ 时, 两幅图像相似; 当 $S = 0$ 时, 两幅图像不相似. 相似度的计算公式如下 (特征已经过归一化).

$$SIM(Q, I) = \sum_{k=1}^{m \times n} W_k sim(Q_K, I_K) \quad (13)$$

其中, W_k 为示例图像相应图像子块 B_k ($k = 1, 2, \dots, m \times n$) 的视觉权值, $sim(Q_K, I_K)$ 为示例图像 Q 与数据库图像 I 相应图像子块的直方图相交.

需要指出的是, 根据以上相似度计算公式, $S(Q, I)$ 与 $S(I, Q)$ 的值一般是不同的.

因此, 本文将示例图像 Q 与数据库图像 I 的总体相似度定义为平均相似度 $S'(Q, I)$, 即

$$S'(Q, I) = \frac{S(I, Q) + S(Q, I)}{2} \quad (14)$$

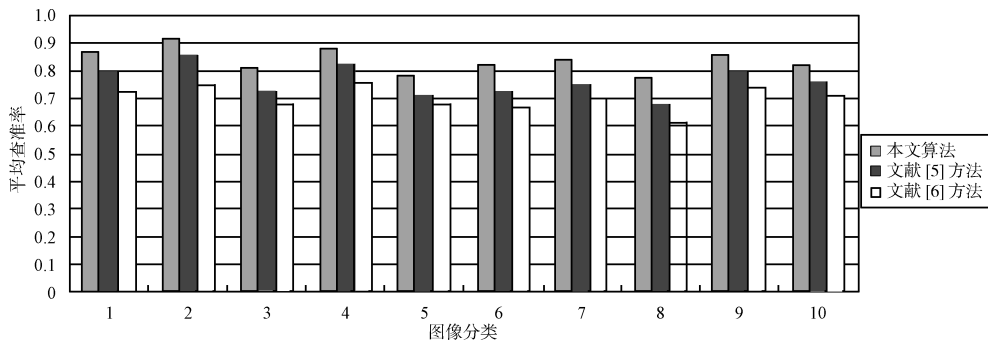
这样, 进行图像检索时, 将首先利用平均相似度计算公式 $S'(Q, I)$ 计算出数据库中的每一幅图像 I 与示例图像 Q 之间的相似度, 然后按照相似度由大到小的顺序返回基于内容图像检索的查询结果.

3 仿真实验与结论

为了验证本文算法的工作效率, 以下给出了两种图像检索方法的平均检索性能 (平均查准率、平均查全率) 对比. 实验中, 所用的测试集是从 Corel 图像库中选取的, 共包含有 33 个语义类, 每个语义类包含有 100 幅图像, 共计 3300 幅图像. 同时, 图像子块数目选取为 $m = 3 \times 3$.

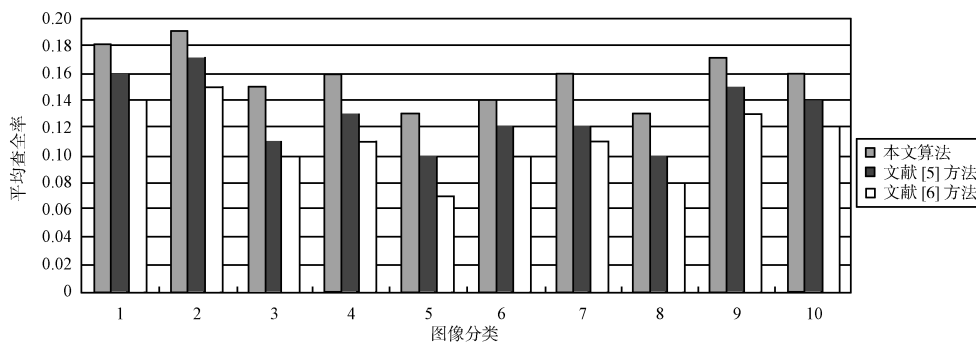
从上述测试图像库中每类随机抽取 5 幅图像作为示例图像, 总共构成 50 次查询, 每次查询选取前 20 幅最相似的图像作为检索结果. 对于每类图像而言, 计算其 5 次查询结果的查准率平均值和查全率平均值, 并将其作为该类图像的平均查准率和平均查全率, 如图 2 所示.

基于内容的图像检索是正处于发展过程中的一门全新、跨学科、综合性高新技术, 研究行之有效的图像特征提取算法, 对提高图像检索系统的性能有着重要而积极的作用. 以人眼视觉感知特性为基础, 结合局部图像相关性, 本文提出了一种基于视觉权值的分块颜色直方图图像检索新方法. 仿真实验表明, 该方法能够准确和高效地查找出用户所需内容的彩色图像, 并且具有较好的查准率和查全率.



(a) 三种方法的平均查准率对比

(a) Comparison of average precisions



(b) 三种方法的平均查全率对比

(b) Comparison of average recalls

图 2 三种方法的平均检索性能对比

Fig. 2 Performance comparison of average precisions and recalls

References

- Datta R, Joshi D, Li J, Wang J Z. Image retrieval: ideas, influences, and trends of the new age. *ACM Computing Surveys*, 2008, **40**(2): 1–60
- Lew M S, Sebe N, Djeraba C, Jain R. Content-based multimedia information retrieval: state of the art and challenges. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, 2006, **2**(1): 1–19
- Wang Yi, Zhai Hong-Chen, Liang Yan-Mei, Zhang Si-Yuan, Mu Guo-Guang. Shape description matrix with application on color image retrieval and recognition. *Science in China (Series E)*, 2004, **34**(3): 337–344
(王熠, 翟宏琛, 梁艳梅, 张思远, 母国光. 形态描述矩阵及其在彩色图像检索与识别中的应用. *中国科学 (E 辑)*, 2004, **34**(3): 337–344)
- Jeong S, Won C S, Gray R M. Image retrieval using color histograms generated by Gauss mixture vector quantization. *Computer Vision and Image Understanding*, 2004, **94**(1-3): 44–66
- Saykol E, Gudukbay U, Ulusoy O. A histogram-based approach for object-based query-by-shape-and-color in image and video databases. *Image and Vision Computing*, 2005, **23**(13): 1170–1180
- Li X L. Image retrieval based on perceptive weighted color blocks. *Pattern Recognition Letters*, 2003, **24**(12): 1935–1941
- Yoon K J, Kweon I S. Color image segmentation considering human sensitivity for color pattern variations. In: *Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Computer Vision*. San Diego, USA: SPIE, 2001. 269–278

王向阳 辽宁师范大学计算机与信息技术学院教授. 主要研究方向为多媒体信息处理技术、网络信息安全技术、视觉信息计算. 本文通信作者. E-mail: wxy37@126.com

(WANG Xiang-Yang Professor at the School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University. His research interest covers multimedia information processing, network information security, and computer vision. Corresponding author of this paper.)

杨红颖 辽宁师范大学计算机与信息技术学院副教授. 主要研究方向为多媒体技术. E-mail: yhy65@126.com

(YANG Hong-Ying Associate professor at the School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University. Her main research interest is multimedia processing.)

郑宏亮 辽宁师范大学计算机与信息技术学院讲师. 主要研究方向为信息安全. E-mail: zheng-hl@263.net

(ZHENG Hong-Liang Lecturer at the School of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University. His main research interest is information assurance.)

吴俊峰 辽宁师范大学计算机与信息技术学院硕士研究生. 主要研究方向为多媒体信息处理技术. E-mail: wujunfeng@163.com

(WU Jun-Feng Master student at the school of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University. His research interest covers multimedia information processing.)