

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 **6**  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年6月 第17卷 第6期(总第194期)

## 目次

### 综述

- 人脸图像的年龄估计技术研究 ..... 王先梅, 梁玲燕, 王志良, 胡四泉(603)
- 图像统计模型参数估计中的期望最大值算法 ..... 李旭超(619)

### 图像处理和编码

- 鲁棒的梯度驱动图像修复算法 ..... 叶学义, 王靖, 赵知劲, 陈华华(630)
- 快速去块效应的线性规划方法 ..... 金剑秋, 刘春晓, 王勋, 章志勇(636)
- DWT-SVD 域全盲自嵌入鲁棒量化水印算法 ..... 叶天语(644)
- Mean-shift 滤波和直方图增强的图像弱边缘提取 ..... 冀峰, 高新波, 谢松云(651)

### 图像分析和识别

- 梯度点对约束的结构化车道检测 ..... 王永忠, 王晓云, 文成林(657)
- 多水平外区抑制的轮廓检测 ..... 闫超, 张建州(664)
- 基于局部投影与块 LBP 特征的图像检索 ..... 邹彬, 潘志斌, 胡森(671)

### 图像理解和计算机视觉

- 视觉陌生度驱动的增量自主式视觉学习算法 ..... 瞿心昱, 姚明海, 顾勤龙(678)
- 霍夫空间中多足球机器人协作目标定位算法 ..... 许家铭, 解仑, 王志良, 倪善超(687)

### 计算机图形学

- 虚拟 CCD 线阵星载光学传感器内视场拼接 ..... 张过, 刘斌, 江万寿(696)

“第八届数字电视与无线多媒体通信国际论坛”会议专栏

追踪盗版者的抗共谋数字指纹 ..... 李晓强, 张煌, 赵洋洋, 汪晶晶(702)

LBP 与鉴别模式结合的热红外人脸识别 ..... 谢志华, 伍世虔, 方志军(707)

电影中复杂事件的检索与识别 ..... 杜吉祥, 郭一兰, 翟传敏(712)

方向特征和网格特征融合的离线签名鉴别 ..... 杨丹凤, 吕岳(717)

视觉关注度的立体图像质量评价 ..... 张艳, 安平, 张秋闻, 张兆杨(722)

低开销的异构数据交换 ..... 赵凯, 赵正德(726)

灵活的多视点视频编码预测结构 ..... 张艳, 蔡灿辉(730)

跨层反馈在无线视频自适应编码中的应用 ..... 王垚中, 郑世宝, 张重阳, 刘勃(736)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 6 期

2012 年 6 月 16 日出版

主管单位 中国科学院  
主 办 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所  
主 编 李小文  
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会  
北京 9718 信箱 邮编 100101  
电子信箱:jig@irsa.ac.cn  
电话:010-64807995 010-82614429  
网 址:www.cjig.cn  
印刷装订 北京北林印刷厂  
广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号  
总 发 行 北京报刊发行局  
订 购 全国各地邮局  
国外发行 中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
(北京 399 信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences  
**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics  
**Chief editor** LI Xiaowen  
**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa.ac.cn  
**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals  
**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)  
**Printed by** Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 6 June 2012

## Contents

### Review

- Age estimation by facial image: a survey ..... Wang Xianmei, Liang Lingyan, Wang Zhiliang, Hu Siqian(603)  
Expectation maximization method for parameter estimation of image statistical model ..... Li Xuchao(619)

### Image Processing and Coding

- Robust gradient driving image inpainting method ..... Ye Xueyi, Wang Jing, Zhao Zhijing, Chen Huahua(630)  
Fast image de-blocking by linear programming ..... Jin Jianqiu, Liu Chunxiao, Wang Xun, Zhang Zhiyong(636)  
Perfectly blind self-embedding robust quantization-based watermarking scheme in DWT-SVD domain ..... Ye Tianyu(644)  
Weak edge detection using Mean-shift filtering and histogram enhancement ..... Ji Feng, Gao Xinbo, Xie Songyun(651)

### Image Analysis and Recognition

- Gradient-pair constraint for structure lane detection ..... Wang Yongzhong, Wang Xiaoyun, Wen Chenglin(657)  
Contour detection based on multilevel inhibition ..... Yan Chao, Zhang Jianzhou(664)  
Image retrieval method based on local projection and block LBP feature ..... Zou Bin, Pan Zhibin, Hu Sen(671)

### Image Understanding and Computer Vision

- Visual novelty driven incremental and autonomous visual learning algorithm ..... Qu Xinyu, Yao Minghai, Gu Qinlong(678)  
Target localization algorithm for cooperative multi-soccer robots based on Hough space .....  
..... Xu Jiaming, Xie Lun, Wang Zhiliang, Ni Shanchao(687)

### Computer Graphics

- Inner FOV stitching algorithm of spaceborne optical sensor based on the virtual CCD line .....  
..... Zhang Guo, Liu Bin, Jiang Wangshou(696)

### Special Issue of the IFIC' 2011

- Anti-collusion fingerprinting scheme capable of tracing pirate ..... Li Xiaoqiang, Zhang Huang, Zhao Yangyang, Wang Jingjing(702)  
Infrared face recognition using LBP and discrimination patterns ..... Xie Zhihua, Wu Shiqian, Fang Zhijun(707)  
Recognize and retrieval complex events in real movies ..... Du Jixiang, Guo Yilan, Zhai Chuanmin(712)  
Off-line signature verification based on combination of direction feature and grid feature ..... Yang Danfeng, Lv Yue(717)  
Stereo image quality assessment based on visual attention ..... Zhang Yan, An Ping, Zhang Qiuwen, Zhang Zhaoyang(722)  
Low overhead of heterogeneous data exchange ..... Zhao Kai, Zhao Zhengde(726)  
Flexible prediction structure for multi-view video coding ..... Zhang Yan, Cai Canhui(730)  
Cross-layer feedback based adaptive coding for wireless video transmission .....  
..... Wang Yaozhong, Zheng Shibao, Zhang Chongyang, Liu Bo(736)

中图法分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)06-0671-07

论文引用格式: 邹彬, 潘志斌, 胡森. 基于局部投影与块 LBP 特征的图像检索[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(6): 671-677.

## 基于局部投影与块 LBP 特征的图像检索

邹彬, 潘志斌, 胡森

西安交通大学电子与信息工程学院, 西安 710049

**摘要:** 首先将投影方法运用于图像局部子块, 并与矢量量化技术相结合, 得到投影矢量索引直方图特征, 能够有效提取图像的颜色分布、空间关系等信息; 其次, 提出基于块基元的 LBP 纹理特征算法, 既能有效提取块基元的结构模式, 又能避免传统基于单像素 LBP 模板的不稳定性, 并大幅减少了计算量; 最后, 基于显著图提出了划分显著区域和非显著区域的特征提取方案, 使得分别提取的特征更富于视觉意义。实验结果表明, 本文算法相对于传统索引直方图方法在性能上有较大的提高, 平均查准率平均提高幅度为 6.39%。

**关键词:** 图像检索; Bitmap 特征; 投影矢量; LBP 特征; 显著图

### Image retrieval method based on local projection and block LBP feature

Zou Bin, Pan Zhibin, Hu Sen

School of Electronic and Information Engineering, Xi'an Jiao Tong University, Xi'an 710049, China

**Abstract:** A projection method is applied to local image blocks through combinations with Vector Quantization (VQ) to generate the projection vector index histogram, which can efficiently represent the distribution and the spacial information of colors. Furthermore, a block-based local binary pattern (LBP) algorithm is proposed, which can effectively extract the structural model of block primitive, avoid instability, and reduce computations compared to the traditional methods. Finally, an image is partitioned into significant regions and non-significant regions based on its saliency map to give the features which are extracted from them more visual sense. Our proposed method is improving the performance by an average of 6.39% compared to the classical index histogram algorithm.

**Key words:** image retrieval; bitmap feature; projection vector; local binary pattern feature; saliency map

## 0 引言

随着多媒体技术的发展和應用, 尤其是各种数字设备的不断更新, 使得人们对图像信息的应用需求不断升级, 图像信息资源的管理和检索变得日益重要。因此, 基于内容的图像检索技术, 已经日益成为图像处理 and 计算机视觉的前沿问题<sup>[1-2]</sup>。如何能

够有效地刻画图像, 如何能够对图像内容进行准确的表达, 如何采用合适的数据结构来描述图像的特性等一系列问题, 成为这个方向研究的热点。

在传统的图像检索技术中, 通过获得单一的特征往往难以全面、有效地表征图像内容信息, 因此许多研究工作提出了综合特征的检索方法<sup>[3]</sup>。本文主要提出了一种综合颜色与纹理特征的图像检索方法。其中, 颜色特征主要通过提取投影矢量索引直

收稿日期: 2011-08-16; 修回日期: 2012-03-31

基金项目: 陕西省科学技术攻关项目(2008K04-01); 高校博士点专项基金项目(20100201110030); 中兴通讯技术开发项目(20110174); 浙江大学开放基金项目(A1115)

第一作者简介: 邹彬(1986—)男, 西安交通大学信息与通信工程系硕士研究生, 主要研究方向为图像处理与识别。E-mail: zoubin@stu.xjtu.edu.cn

方图来获取,而纹理特征主要基于LBP算法原理<sup>[4]</sup>进行提取。传统的颜色直方图特征只提取了颜色的统计特性,而忽略了像素颜色间的空间联系,为了获取一定的颜色空间的位置信息,本文将投影的方法运用于图像局部子块,并且综合矢量量化的方法,生成投影矢量索引直方图。这样一方面有效提取了图像颜色分布、空间关系等信息,同时,又规范简化了特征的提取表示,减少了特征的存储量。纹理特征的提取主要基于LBP算法原理,不同于传统LBP纹理算法基于单像素的特点,本文方法在提取纹理时以图像子块为基元,提取其结构模式,避免了局部噪声的影响,又与整个算法系统框架协调一致,极大减少了计算量。最后,利用图像显著图<sup>[5]</sup>,对图像进行前景与背景区域划分,并分别独立提取上述特征,使得提取的特征更富于视觉意义。实验结果表明,本文算法具有良好的检索效果。

## 1 局部投影特征的提取

获得图像颜色分布位置信息的一个较为简单的方法,便是对图像颜色内容进行投影<sup>[6]</sup>,即从某个特定方向对图像颜色强度进行累加积分,得到该方向上的投影矢量,其每一维数分别代表了不同方向位置上图像颜色强度的累加值;当从不同方向对图像颜色强度进行投影时,得到不同方向上的投影矢量,这些投影矢量组合在一起,在一定程度上反映了图像颜色的空间位置分布信息。

投影的方法已经被运用于医学图像分析、人脸识别等领域<sup>[7-8]</sup>,对于这些具有较为明显特征类型的图像,取得了较好的效果,并具有一定的鲁棒性。本文将投影方法应用到图像局部,对图像划分子块,然后对局部子块进行投影。在图像中,位置相邻或者内容相近的子块往往具有近似的颜色内容分布,因此对其进行投影所获得的投影矢量也应该具有极为相似的结构特征;然而,对图像进行子块划分后,最终得到的投影矢量数目众多,难以形成规范统一的特征表示,影响图像检索匹配的效果和效率。所以,在综合考虑以上问题后,本文采用矢量量化的方法对获得的子块投影矢量集合进行聚类,然后在此基础上提取投影矢量索引直方图,不仅具有理论意义,而且特征规范易于存储。

### 1.1 图像局部子块投影矢量的提取

对任意检索图像 $I$ ,设其尺寸为 $w \times h$ ,首先将其

分成互不重叠的 $4 \times 4$ 图像子块,记为 $B_i^\lambda = \{b_1, b_2, \dots, b_{16}\}$ ,其中 $\lambda \in \{R, G, B\}$ ,代表图像某一颜色分量下的子块, $1 \leq i \leq X$ 表示第 $i$ 个图像块, $X = w/4 \times h/4$ 为该图像具有的图像块的总数。然后对各个图像局部子块进行投影,由于颜色内容差异主要体现在水平、垂直以及倾斜 $\pm 45^\circ$  4个方向,因此分别对子块的颜色强度在这4个方向上投影,具体过程如图1所示。

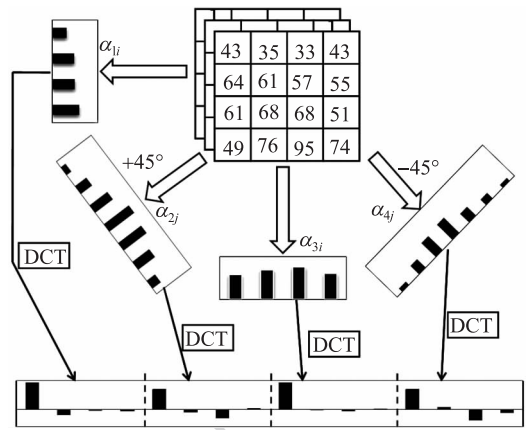


图1 图像局部子块投影示意图

Fig. 1 Demonstration of projection for a local image sub-block

如图1所示,将4个方向投影得到的直方图矢量按顺序级联,得到高维的1维投影矢量

$$P_i^\lambda = \{\alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots, \alpha_{1i}; \alpha_{21}, \alpha_{22}, \dots, \alpha_{2j}; \alpha_{31}, \alpha_{32}, \dots, \alpha_{3i}; \alpha_{41}, \alpha_{42}, \dots, \alpha_{4j}\} \quad (1)$$

式中, $\lambda \in \{R, G, B\}$ , $1 \leq i \leq X$ 表示第 $i$ 个图像块 $\lambda$ 分量的投影矢量, $X$ 为该图像所有图像块的总数。 $\alpha_{1i}$ 、 $\alpha_{2j}$ 、 $\alpha_{3i}$ 和 $\alpha_{4j}$ 分别表示从水平、倾斜 $+45^\circ$ 、垂直和倾斜 $-45^\circ$ 方向上进行投影得到的投影矢量,并且倾斜 $\pm 45^\circ$ 方向上的投影维数 $j=7$ 大于水平和垂直投影的维数 $i=4$ ,两者满足关系式 $j = 2i - 1$ 。

由上述过程提取得到的子块投影矢量虽然可以直接用做特征,但是在实际应用中存在如下问题:首先,级联后投影矢量的各个维数具有平等的作用程度,但由于在不同方向进行空间投影时,得到的投影矢量长度不一,其中倾斜 $\pm 45^\circ$ 方向上的投影矢量维数大于水平、垂直方向上的投影矢量维数,这样造成了两类方向上投影矢量所起作用重要程度的不对称性;其次,在倾斜 $\pm 45^\circ$ 方向上进行投影时,从图像中心向两侧边缘所累加像素数逐渐减少,所以其重要程度也应依次减弱,但在投影矢量中却被平等对待,因此弱化了这两个方向上投影矢量的有效性。

针对上述问题,我们对从各个方向得到的投影矢量分别进行 DCT,将投影矢量的数值转变为 DCT 系数;由于对矢量进行 DCT 时,数值具有能量集中的过程,因此,我们可以选择其主要系数作为特征系数,在使各个方向投影矢量维数相同的同时,保证其特征的有效性。具体做法如下:

$$P_i^{Ad} = \left\{ \begin{aligned} & dct(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots, \alpha_{1i})_N; dct(\alpha_{21}, \alpha_{22}, \dots, \\ & \alpha_{27})_N; dct(\alpha_{31}, \alpha_{32}, \dots, \alpha_{3i})_N; dct(\alpha_{41}, \\ & \alpha_{42}, \dots, \alpha_{4j})_N \end{aligned} \right\} =$$

$$\left\{ \begin{aligned} & \beta_{11}, \beta_{12}, \dots, \beta_{1N}; \beta_{21}, \beta_{22}, \dots, \beta_{2N}; \\ & \beta_{31}, \beta_{32}, \dots, \beta_{3N}; \beta_{41}, \beta_{42}, \dots, \beta_{4N} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中,  $dct(\cdot)_N$  表示将括号内矢量进行 DCT 后取其前  $N$  个系数,  $\beta_{1N}$ 、 $\beta_{2N}$ 、 $\beta_{3N}$  和  $\beta_{4N}$  分别表示对相应投影矢量进行 DCT 变换后的特征系数矢量,且维数均为  $N$  个,在本文中  $N=4$ 。所以  $P_i^{Ad}$  为 1 个 16 维投影矢量,将其另记为

$$P_i^{Ad} = \left\{ \beta_1^A, \beta_2^A, \dots, \beta_{16}^A \right\} \quad (3)$$

然后将不同颜色分量下的 3 个投影矢量级联成 1 个 48 维矢量

$$P_i = \left\{ \beta_1^R, \beta_2^R, \dots, \beta_{16}^R; \right.$$

$$\left. \beta_1^G, \beta_2^G, \dots, \beta_{16}^G; \beta_1^B, \beta_2^B, \dots, \beta_{16}^B \right\} =$$

$$\left\{ p_1, \dots, p_{16}, p_{17}, \dots, p_{32}, p_{33}, \dots, p_{48} \right\} \quad (4)$$

由此可以得到一幅图像关于其所有划分子块的投影矢量集合  $\{P_i | 1 \leq i \leq X\}$ ,  $X$  为图像具有的图像块的总数,并且每 1 个投影矢量均为 48 维矢量。

## 1.2 基于矢量量化的投影矢量索引直方图提取

### 1.2.1 矢量量化技术

矢量量化<sup>[9]</sup>(VQ)是一种高效的高维数据有损压缩技术,具有压缩比大及编解码简单等优点,已经在数据压缩领域得到了广泛的应用,尤其适用于对图像冗余信息的压缩。目前,矢量量化技术可应用于视频电话、无线投影、数码相机等多媒体技术,还可用于卫星遥感图片以及气象云图的压缩编码和存储传输等方面。

矢量量化的基本量化器定义为  $Q$ ,可以理解成一种从  $k$  维欧氏空间  $R^k$  到有限集合  $C$  的映射,表示为  $Q: R^k \rightarrow C$ ,其中  $C = \{y_0, y_1, \dots, y_{N-1} | y_i \in R^k\}$  称为码书,  $N$  为码书大小。假设输入矢量为  $x = [x_0,$

$x_1, \dots, x_{k-1}]^T$ ,如果码书中的码字  $y_i = [y_{i0}, y_{i1}, \dots, y_{i(k-1)}]^T$  与输入矢量  $x$  满足

$$d(x, y_{bm}) = \min_{0 \leq i \leq N-1} d(x, y_i) \quad (5)$$

$$d(x, y_i) = \sum_{l=0}^{k-1} (x_l - y_{il})^2 \quad (6)$$

则  $y_{bm}$  定义为输入矢量  $x$  的最匹配码字,其中  $d(x, y_i)$  为输入矢量  $x$  与码字  $y_i$  之间的失真距离。码书的生成方法有多种,但使用最广泛的是由 Linde, Buzo 和 Gray<sup>[10]</sup>于 1980 年提出的 LBG 矢量量化码书设计算法<sup>[9]</sup>。本文利用 LBG 算法生成码书。

### 1.2.2 投影矢量索引直方图的提取

运用矢量量化技术对图像进行编码的过程如图 2 所示。

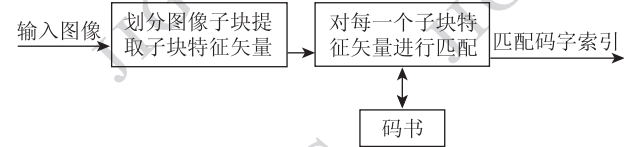


图 2 图像的矢量量化编码流程图

Fig.2 Flow chart of image coding by VQ

图中,子块特征矢量为子块的投影矢量,对编码时产生的匹配码字索引进行统计,便可以得到一个索引直方图进行图像检索。具体步骤如下:

- 1) 对图像库中所有图像进行  $4 \times 4$  子块划分,并对每一个子块按照 2.1 节方法进行投影,得到投影矢量训练集合  $\{P_i | 1 \leq i \leq D\}$ ,其中  $D$  为投影矢量总数。
- 2) 对投影矢量训练集合  $\{P_i | 1 \leq i \leq D\}$  按照 LBG 算法生成码书  $C_N$ ,  $N$  为码书大小,一般为 2 的幂次方。
- 3) 对输入查询图像  $Q$ ,划分子块并对每一个子块进行投影得到投影矢量,然后根据式(5)(6)在码书  $C_N$  中得到最匹配码字。
- 4) 统计所有图像子块的匹配码字所对应的索引序号,最后生成投影矢量的索引直方图  $H(v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_N)$ ,其中  $v_i$  表示第  $i$  个码字为最匹配码字的频数,  $N$  为码书的大小,即码书中所有码字的总数。

## 2 基于块基元的 LBP 特征提取

纹理是图像视觉的重要特征之一,也是图像检索技术研究中的一个重要组成部分。纹理可以看做是由纹理基元按照某种确定性或者统计性规律排列组合而成,从而表现出一定的视觉效果。在空间域

分析方法中常用的 LBP 算法<sup>[11]</sup>,其本质是通过描述中心像素与周围邻域像素之间的相对强度关系,进而刻画像素及其邻域的灰度空间分布规律。然而,这种标准的 LBP 算法存在许多缺陷。一方面,标准 LBP 算法不具有旋转不变性;另一方面,统计模式杂乱,所得到的直方图维数过多,较为稀疏,影响其效果。因此,此后一些研究工作提出了旋转不变的统一模式  $LBP^{riu2}$ <sup>[4,12]</sup>,对于如图 3 所示的  $3 \times 3$  像素模板,其匹配模式索引的计算如式(7)–(9)所示。

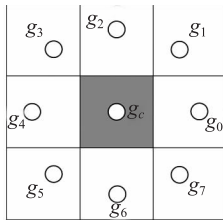


图 3  $LBP^{riu2}$  的  $3 \times 3$  像素模板

Fig. 3 Example of  $LBP^{riu2}$   $3 \times 3$  pixel template

$$U(LBP_p) = |s(g_{p-1} - g_c) - s(g_0 - g_c)| + \sum_{p=1}^{P-1} |s(g_p - g_c) - s(g_{p-1} - g_c)| \quad (7)$$

$$LBP_p^{riu2} = \begin{cases} \sum_{p=1}^{P-1} s(g_p - g_c) & U(LBP_p) \leq 2 \\ P + 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

$$s(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (9)$$

式中,  $P = 0, \dots, 7$ , 为中心像素邻域选取的像素数目。从式(7)–(9)可知,统一模式的意义在于:对于 8 位的二进制,当 0 和 1 的变化次数小于等于 2 的时候,定义为统一模式;而当 0 和 1 的变化次数大于 2 的时候,统一定义为非统一模式。因为,纹理的统计意义在于统计规律性的纹理单元,而当基本单元变化较强且较复杂时,便失去了规律性,因此将其收集在一个箱体内部比较合理,最终的模式总数为 59。

但是,上述的 LBP 纹理提取均是基于单像素,适用于普遍的纹理图像,反映了对纹理模式单元的统计信息。而对于一般的检索图像,其颜色强度的变化相对于纹理图像趋向于平缓,重复规律性较弱,对其局部变化模式的统计意义要大于对其纹理结构的统计意义,因此,统计大量重复出现的基于单像素点的特征单元是不必要的,而且计算量繁重;同时,考虑到本文方法的系统连贯性,我们在对图像分块

的基础上,以图像子块为基本单元进行 LBP 模式特征的提取,具体步骤如下:

1) 首先将输入的彩色 RGB 图像转变为灰度图像,转变方式为  $I = \frac{R + B + G}{3}$ 。

2) 对灰度图像  $I$  进行  $4 \times 4$  子块划分,并对每一个子块按照图 4 所示方式,将  $4 \times 4$  模板退化为  $3 \times 3$  模板,即按图所示,对  $4 \times 4$  子块中的  $2 \times 2$  邻域求均值,然后按其位置顺序对应生成相应的  $3 \times 3$  模板,记为  $T = (g_c, g_0, \dots, g_7)$ 。

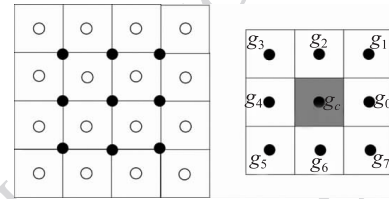


图 4 基于块基元的 LBP 模板生成

Fig. 4 Generation of block-based LBP template

3) 对模板  $T = (g_c, g_0, \dots, g_7)$  按照式(7)–(9)计算出匹配模式索引,然后统计出 LBP 直方图,记为  $H(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_{59})$ ,其中  $p_i$  表示第  $i$  个模式发生的频数。

相对于基于单像素的 LBP 特征提取方法,本文提出的上述基于块基元的 LBP 提取方法,避免了对单像素逐一扫描时大量重复特征单元的计算统计,使得特征单元的数量减少到原来的  $1/16$ 。对一幅尺寸为  $w \times h$  的检索图像,进行单像素 LBP 特征提取时,如图 3 所示的  $3 \times 3$  像素模板,按式(7)–(9),一个单像素基元需要的加减法运算量为 16 次(8 次比较模板中心像素与邻域像素的大小 + 8 次统计模板中相邻变化次数),比较运算量为 9 次(8 次模板内中心像素与邻域像素比较结果的正负判断 + 1 次模板单元的模式判断);当进行基于块基元的 LBP 特征提取时,先将  $4 \times 4$  模板退化为  $3 \times 3$  模板,需要增加 9 次像素的平均计算,每次平均包含 3 次加法和 1 次除法运算,退化后则按照  $3 \times 3$  像素模板进行计算。所以,进行单像素 LBP 特征提取时,总共需要的加减法运算量为  $wh \times (8 + 8) = 16wh$ ,比较运算量为  $wh \times (8 + 1) = 9wh$ ;而进行基于块基元的 LBP 特征提取时,总共需要的加减法运算量为  $wh/16 \times (8 + 8 + 9 \times 3) = 2.6875wh$ ,比较运算量为  $wh/16 \times (8 + 1) = 0.5625wh$ ,除法运算量为  $wh/16 \times 9 = 0.5625wh$ 。由此对比可以看出,本文方法虽然新增加了除法运算,但其总次数相对较小,同时

由于加减法运算与比较运算的大幅成倍减少,因此总的计算量也随之得到较大的有效减少。

总之,基于块基元的 LBP 特征提取方法,不但具有 LBP 模式统计的优势,同时在进行模板退化过程中,提取邻域元素均值作为新的模板元素,提高了模式匹配判断时的稳定性,避免噪声等因素的影响;而且,本文方法避免了大量重复计算,大为降低了特征提取过程中的计算量与耗时。

### 3 基于显著图的特征提取方案

在图像检索中,一般特征提取算法均针对整幅图像进行提取,因此,对于内容丰富的图像,其不同的目标特征最后都被涵盖于同一特征矢量中,无法体现出不同目标特征的独特性和其相互之间的差别,最终影

响了特征对图像内容的表征能力以及检索效果。所以在本文方法中,我们首先利用视觉注意力模型,从图像中提取出能够反映人眼视觉感知的显著图,然后根据显著图分区提取特征进行检索。在本文中,我们使用美国加州大学 Itti 于 1998 年提出的 Itti 注意力模型<sup>[13]</sup>,这也是迄今为止最经典的注意力模型。

由注意力模型提取出的显著图,虽然只是对图像感兴趣区域的一种近似,与实际有差距,但是却从底层为我们分析图像提供了宝贵的线索,如哪些区域比较重要突出,可能会受关注,哪些区域可能无关等<sup>[14]</sup>。我们利用 Itti 模型得到显著图后,根据图像像素显著度的分布,大致分为显著度高的显著区和显著度低的非显著区,其一般分别对应图像中的目标区域和背景区域。然后,我们分别在这两个区域上进行特征提取,具体流程如图 5 所示。

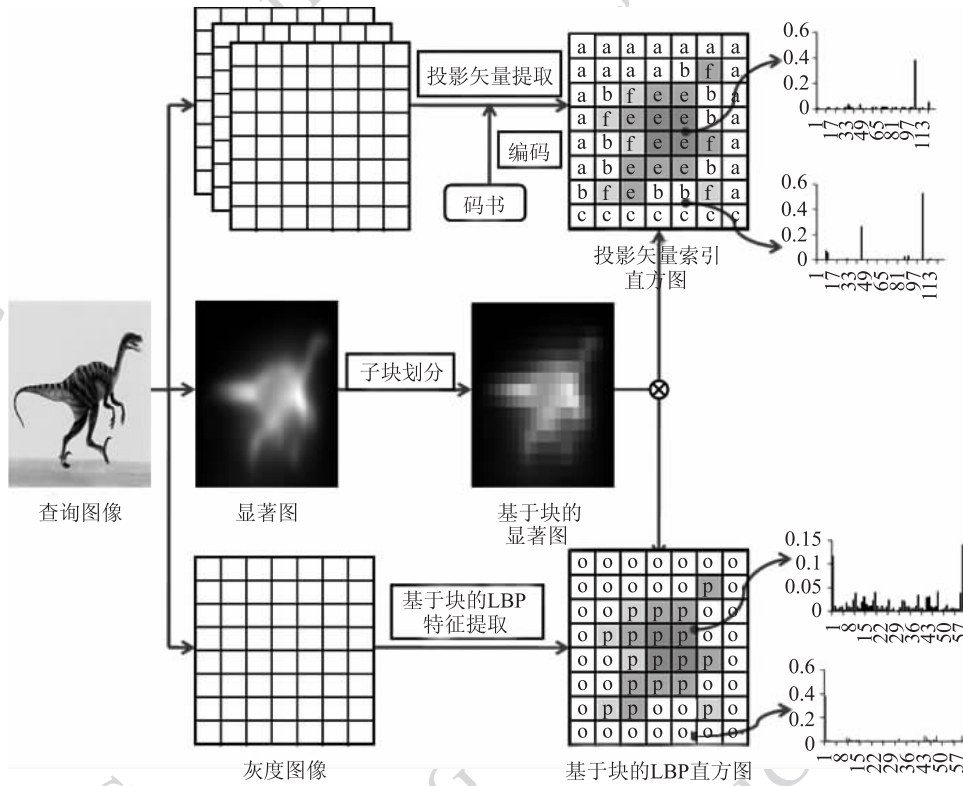


图 5 基于显著图的特征提取方案

Fig. 5 Framework of feature extraction based on saliency map

按照图 5 所示,本文方法的具体步骤为:

1) 首先对输入图像根据 Itti 注意力模型求取显著图 (saliency map), 记为  $S(i, j) \in (0, 1)$ ,  $(i, j)$  为像素点位置。

2) 对显著图进行  $4 \times 4$  子块划分, 得到子块记为  $B_i^s = \{s_1, s_2, \dots, s_{16}\}$ ,  $1 \leq i \leq X$  表示第  $i$  个图像块,

$X$  为划分后得到的图像子块总数。然后, 对显著图的每个子块求均值, 得到各个块的显著度, 表示为

$$S_i = average(B_i^s) = \frac{1}{16} \sum_{j=1}^{16} s_j \quad (10)$$

3) 求取显著性划分阈值  $S_{th}$ , 并根据该阈值, 将所有子块划分为显著块和非显著块, 表示为

$$S_m^H = \{S_i | S_i \geq S_{th}\}, 1 \leq m \leq M, 1 \leq i \leq X \quad (11)$$

$$S_n^L = \{S_i | S_i < S_{th}\}, 1 \leq n \leq N, 1 \leq i \leq X \quad (12)$$

式中,  $M$  和  $N$  分别表示显著区域和非显著区域子块的总数, 并且  $S_{th}$  的选取满足  $M/(M+N) = Per$ ,  $Per \in (0, 1)$  代表选择的显著性比例。在本文算法中通过试验,  $Per$  选取 30% 比较合适。

4) 对图像颜色按照第 1 节方法求取特征, 得到所有子块投影矢量的索引集合  $\{Index\_projection_i | 1 \leq i \leq X\}$ , 然后按照其与显著块和非显著块的位置对应关系, 分别划分为显著区域投影矢量的索引集合  $\{Index\_projection_m^H | 1 \leq m \leq M\}$ , 和非显著区域投影矢量的索引集合  $\{Index\_projection_n^L | 1 \leq n \leq N\}$ 。

5) 再对图像灰度按照第 2 节方法求取特征, 得到所有子块 LBP 匹配模式的索引集合  $\{Index\_LBP_i | 1 \leq i \leq X\}$ , 然后按照其与显著块和非显著块的位置对应关系, 分别划分为显著区域子块 LBP 匹配模式的索引集合  $\{Index\_LBP_m^H | 1 \leq m \leq M\}$ , 和非显著区域子块 LBP 匹配模式的索引集合  $\{Index\_LBP_n^L | 1 \leq n \leq N\}$ 。

6) 最后对上述求取的索引集合分别建立显著度加权的索引直方图, 具体为

$$H_p^H(c) = \sum_{m=1}^M f(Index\_projection_m^H, c) S_m^H \quad (13)$$

$$H_p^L(c) = \sum_{n=1}^N f(Index\_projection_n^L, c) S_n^L \quad (14)$$

式中,  $c \in [1, C]$ ,  $C$  为最终训练码书的大小, 在本文中  $C = 128$ 。

$$H_{LBP}^H(k) = \sum_{m=1}^M f(Index\_LBP_m^H, k) S_m^H \quad (15)$$

$$H_{LBP}^L(k) = \sum_{n=1}^N f(Index\_LBP_n^L, k) S_n^L \quad (16)$$

式中,  $k \in [1, 59]$ ,

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 & x = y \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (17)$$

## 4 相似性度量准则

设由查询图像  $Q$  按照式(13)–(16)分别得到特征直方图, 记为  $Q_P^H(c)$ 、 $Q_P^L(c)$ 、 $Q_{LBP}^H(k)$  和  $Q_{LBP}^L(k)$ ;  $P$  为图像库中的一幅图像, 同理可得其特征直方图, 记为  $P_P^H(c)$ 、 $P_P^L(c)$ 、 $P_{LBP}^H(k)$  和  $P_{LBP}^L(k)$ 。则定义总的相似性度量距离为

$$D^H(Q, P) = \omega_1 D_{hi}(Q_P^H(c), P_P^H(c)) + \omega_2 D_{hi}(Q_{LBP}^H(k), P_{LBP}^H(k)) \quad (18)$$

$$D^L(Q, P) = \omega_1 D_{hi}(Q_P^L(c), P_P^L(c)) + \omega_2 D_{hi}(Q_{LBP}^L(k), P_{LBP}^L(k)) \quad (19)$$

$$D(Q, P) = \omega_H D^H(Q, P) + \omega_L D^L(Q, P) \quad (20)$$

式中,  $D_{hi}(q, t)$  表示相交距。 $\omega_1$  和  $\omega_2$  分别用来调整颜色特征度量距离和纹理特征度量距离所占比重, 通过两者的调节, 可以突出某方面特征的重要性;  $\omega_H$  和  $\omega_L$  则分别强调显著区域特征和非显著区域特征的相对重要性, 从理论上讲, 因为显著性区域更受人眼视觉关注, 因此其比重应相对较大, 但同时考虑到显著性区域一般所占面积较小, 故其比重也不应过大, 具体调整应通过实验进行。

## 5 实验结果与分析

使用包括 10 类图像 (每类包含 100 幅同类图像) 的 Corel 图像库进行测试, 在本图像库的每一类图像中, 对每一幅图像均作为查询图像, 然后利用本文方法以及文献[15]中的传统索引直方图检索方法进行图像检索。查准率和查全率为

$$precision = \frac{N_R}{N} \quad (21)$$

$$recall = \frac{N_R}{N_A} \quad (22)$$

式中,  $N_R$  为检索系统返回的正确相关图像数目,  $N$  为系统返回的所有图像数目,  $N_A$  为图像库中与查询图像相似的图像总数目。由计算得到查全查准率曲线, 如图 6 所示。

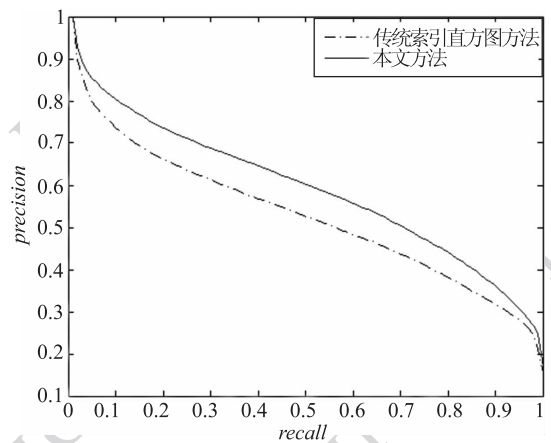


图 6 本文算法的实验结果图

Fig. 6 Experiment results of our proposed algorithm

设返回图像数目  $N = 20$  时, 按照式(21)得到两种方法各类别图像的平均查准率如表 1 所示。

从实验结果来看,本文方法取得了良好的检索性能,说明本文基于局部提取的投影矢量索引直方图特征以及基于块的LBP特征均为有效特征,同时利用图像显著图将图像划分显著区域与非显著区域,并在

此基础上分别提取颜色与纹理特征,综合进行检索的策略思路也是非常有效的。检索性能相对于传统索引直方图方法有较明显的提高,平均查准率总体平均提高幅度为6.39%,并且对各类图像均有提升效果。

表1 两种方法各类别图像检索的平均查准率

Table 1 Comparison of average retrieval precision on each category for two methods

方法	图像类别										平均效果
	非洲	海滩	建筑	汽车	恐龙	大象	花朵	马匹	山脉	食物	
索引直方图方法	77.5	37.6	51.6	67.6	98.4	61.4	77.6	93.2	44.3	70.7	68.0
本文方法	78.9	47.0	62.3	84.6	99.2	68.7	86.9	94.4	50.9	77.6	75.0

## 6 结 论

本文主要提出了一种基于局部投影与LBP特征的图像检索方法。首先将投影方法运用于局部,并与矢量量化技术相结合,得到的投影矢量索引直方图不仅有效提取了颜色分布,同时涵盖了局部子块像素的空间联系,而且特征简洁规范。然后,在传统LBP算法的基础上,提出了基于块基元的LBP纹理特征算法,该方法既能有效提取块基元的结构模式,又避免了传统基于单像素LBP模板的不稳定性,与整个算法系统框架协调一致,并大幅减少了计算量。最后,提出了基于图像显著图进行特征提取的方案,通过显著图所提供的图像显著性线索,将图像划分为显著区域和非显著区域,对应于前景和背景,使得分别提取的特征更富于视觉意义。实验结果表明,本文算法具有良好的检索效果。

## 参考文献 (References)

- [1] Datta R, Li J, Wang J Z. Content-based image retrieval: approaches and trends of the new age [C]//Proceedings of the 7th ACM SIGMM International Workshop on Multimedia Information Retrieval. New York, USA: ACM, 2005: 253-262.
- [2] Smeulders A W M, Worring M, Santini S, et al. Content-based image retrieval at the end of the early years [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22 (12): 1349-1380.
- [3] Punpiti P, Alexandridis N A, Srakaew S, et al. Multi feature content based image retrieval [C]//Proceedings of International Conference on Computer Graphics and Imaging. Halifax, Canada: IASTED Press, 1998: 1-4.
- [4] Guo Z, Zhang L, Zhang D. Rotation invariant texture

classification using LBP variance (LBPV) with global matching [J]. Pattern Recognition, 2010, 43 (3): 706-719.

- [5] Bamidele A, Stentiford F W M, Morphet J. An attention based approach to content based image retrieval [J]. BT Technology Journal, 2004, 22 (3): 151-160.
- [6] Hejazi M R, Shevlyakov G, Ho Y S. Modified discrete Radon transforms and their application to rotation-invariant image analysis [C]//Proceedings of IEEE 8th Workshop on Multimedia Signal Processing. Victoria, BC: IEEE Press, 2006: 429-434.
- [7] Suzuki Y, Shibata T. Multiple clue face detection algorithm using edge-based feature vectors [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Montreal, Canada: IEEE Press, 2004, 5: 737-740.
- [8] Yagi M, Shibata T. An image representation algorithm compatible with neural associative processor based hardware recognition systems [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2003, 14 (5): 1144-1161.
- [9] Sun S H, Lu Z M. Vector quantization technique and its application [M]. Beijing: Science Press, 2002. [孙圣和, 陆哲明. 矢量量化技术及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.]
- [10] Linde Y, Buzo A, Gray R. An algorithm for vector quantizer design [J]. IEEE Transactions on Communications, 1980, 28 (1): 84-95.
- [11] Ojala T, Pietik I M, Harwood D. A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions [J]. Pattern Recognition, 1996, 29 (1): 51-59.
- [12] Ojala T, Pietik I M, M E T. Multiresolution gray scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns [J]. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2002, 24 (7): 971-987.
- [13] Itti L, Koch C, Niebur E. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20 (11): 1254-1259.
- [14] Abdullah A, Veltkamp R C, Wiering M A. Fixed partitioning and salient points with MPEG-7 cluster correlograms for image categorization [J]. Pattern Recognition, 2010, 43 (3): 650-662.
- [15] Teng S W, Lu G. Image indexing and retrieval based on vector quantization [J]. Pattern Recognition, 2007, 40 (11): 3299-3316.