

现勘图像检索综述

刘 颖^{1,2}, 胡 丹^{1,2}, 范九伦¹

(1. 西安邮电大学图像与信息处理研究所, 陕西西安 710121;
2. 电子信息现场勘验应用技术公安部重点实验室, 陕西西安 710121)

摘 要: 现勘图像检索是进行证据图像比对以获取物证信息的重要手段. 本文基于目前应用广泛的现勘图像数据库, 根据图像内容将图像分为鞋印、指纹、纹身等种类. 并通过对现勘图像的两项关键技术即低层数字特征提取和高层语义分析的总结, 从颜色特征、纹理特征、边缘提取等方面综述了现勘图像低层数字特征提取技术, 从利用语义模板和数据库本体结构、机器学习算法、引入人工反馈三大类高层语义提取技术综述了现勘图像高层语义分析的研究成果. 最后, 结合公安行业利用现勘图像获取物证线索的实际应用需求, 指出了通过引入公安行业先验知识来提高检索效率等研究方向.

关键词: 现勘图像检索; 现勘图像数据库; 低层数字特征; 高层语义特征

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2018)03-0761-08

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2018.03.035

A Survey of Crime Scene Investigation Image Retrieval

LIU Ying^{1,2}, HU Dan^{1,2}, FAN Jiu-lun¹

(1. Center for Image and Information Processing, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an, Shaanxi 710121, China;
2. Key Lab of Electronic Information Processing with Applications in Crime Scene Investigation, Ministry of Public Security, Xi'an, Shaanxi 710121, China)

Abstract: Crime scene investigation (CSI) image retrieval is an important means to obtain material evidence for case solving. This paper describes the CSI image datasets, which are classified into different categories according to the content of the data, such as shoe marks, finger prints, tattoo, etc. This paper provides a survey on state-of-the-art techniques in CSI image retrieval focusing on low-level feature extraction and high-level semantic learning. Low-level CSI image features mainly include color feature, texture feature, boundary descriptor, etc. And, three categories of high-level semantic extraction techniques for CSI images are identified including using semantic template and database ontology, machine learning techniques and introducing relevance feedback. In addition, based on practical requirements from the police on using CSI images to find evidence clues, a few research directions are suggested such as introducing prior knowledge of the police to enhance retrieval efficiency.

Key words: crime scene investigation image retrieval; crime scene investigation image database; low-level digital feature extraction; high-level semantic learning

1 引言

现勘图像是现场勘验信息的重要组成部分, 而现勘图像检索 (Crime Scene Investigation Image Retrieval, CSIR) 可为刑侦破案提供重要线索, 并在串并案中起到重要作用. 随着摄像设备的普及, 现勘图像数量的积累

增加, 高效的 CSIR 对提高公安机关的工作效率、节省人力物力资源越来越重要^[1-3].

基于内容的图像检索 (Content-Based Image Retrieval, CBIR) 利用从图像像素值中提取的低层图像数字特征和高层语义特征来描述图像内容, 并通过图像特征向量间的距离来定义图像相似度, 从而实现图像

数据库检索^[4]. 关于 CBIR 的研究始于上个世纪八十年代. 常用的图像低层数字特征包括色度特征、纹理特征、空间位置特征和形状特征^[5]. 除了传统的图像低层数字特征^[4,5], 近年来, 研究对亮度、平移、旋转、尺度等变化具有鲁棒性的图像特征越来越受到重视^[6,7], 比如尺度不变特征变换 (Scale Invariant Feature Transform, SIFT)^[7]、方向梯度直方图 (Histogram of Oriented Gradient, HOG)^[8]、词袋 (Bag of Words, BOW)^[9]、空间金字塔匹配 (Spatial Pyramid Matching, SPM)^[10] 等. 图像高层语义特征 (high-level semantic feature) 是将图像低层数字特征通过机器学习等算法转换为接近人类语言的文字描述^[5]. 除了传统的语义学习算法^[4], 近年来, 学者们将相关反馈 (Relevance Feedback, RF)^[11]、模糊理论 (fuzzy theory)^[12,13] 等用于 CBIR 中, 以引入更多的人机交互, 引用人类容易理解的术语表达结果, 提供学习速度快、网络结构简单的检索模型, 从而显著减少检索时间, 提高检索准确率. 深度学习 (deep learning) 可以利用卷积神经网络从大数据中自动学习出图像的高层语义特征, 近年来在图像分类方面表现突出^[14-16].

虽然 CBIR 已经发展多年, 但是由于现勘图像数据涉及实际案件, 数据来源特殊, 建立科研用现勘图像数据库并不容易. 因此, 学术界目前关于 CSIR 的研究相对较少. 此外, 现勘图像数据本身具有不同于学术界常用测试图像数据库的特点, 常规的 CBIR 算法不一定适用于 CSIR^[17]. 要提高 CSIR 的效率, 需要充分考虑现勘图像数据的特点, 及公安行业的实际应用需求. 本文总结了该领域已有的研究成果, 讨论了现勘图像检索的最新技术动态, 并介绍了目前研究学者们使用的各类现勘图像数据库. 此外, 结合公安行业实际需求, 分析了现勘图像检索技术的发展趋势, 指出了该领域几个未来研究方向.

2 现勘图像数据库

近年来的学术文献显示, 目前在这个领域比较活跃的研究团队有: 新加坡南洋理工大学计算机工程学院法庭科学和安全实验室 (Forensic and Security Laboratory, School of Computer Engineering, Nanyang Technological University)、密歇根州立大学计算机科学与工程学院 (Computer Science and Engineering at Michigan State University)、首都师范大学信息工程学院、西安邮电大学图像与信息处理研究所等高校及研究院的科研团队. 这些学者们所用的现勘图像数据多为来自特殊行业的实际数据, 也有部分自建数据. 主要有: 车牌图像库、手印掌印图像库、纹身图像库、毛发图像库、皮肤标志图像库等^[21-34]. 如表 1 所描述, 部分例图如图 1 所示.

表 1 现勘图像数据库介绍

研究机构	数据库类别	数据库大小(张)
Shahid Rajaee Teacher Training University, Iran	车牌	1200
Forensic and Security Laboratory, School of Computer Engineering, Nanyang Technological University, Singapore	掌纹	7752
首都师范大学	鞋印	2000
Computer Science and Engineering at Michigan State University, USA	纹身	100000
Forensic and Security Laboratory, School of Computer Engineering, Nanyang Technological University, Singapore	皮肤	1133
西安邮电大学图像与信息处理研究所	轮胎花纹	100000
西安邮电大学图像与信息处理研究所	综合	11456

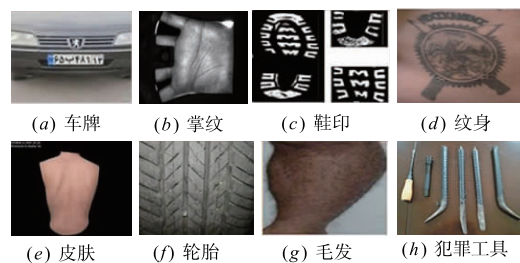


图 1 各类现勘图像数据库例图

西安邮电大学图像与信息处理研究所依托与公安部共建的研究平台, 多年来从事现勘图像检索领域的研究, 目前建成了包含 11456 幅 46 类实际案例图像的数据库, 包括生物物证、血迹、车辆、指纹、鞋印、作案工具、轮胎压痕等.

3 现勘图像检索技术

文献中对 CSIR 的研究, 大部分针对某一类现勘图像进行, 比如纹身数据库, 鞋印数据库, 毛发数据库等^[18-31]. 而随着大数据的出现, 快速有效地从多渠道多种类大型现勘图像数据库中获取有效线索越来越受到重视. CSIR 的研究是在基于 CBIR 技术的基础上, 根据现勘图像数据的特点, 进行改进以提高检索效率. 本文基于现有的基于内容的现勘图像检索技术^[18-35], 从现勘图像低层数字特征提取、高层语义特征提取两个方面描述 CSIR 的发展现状.

3.1 现勘图像低层数字特征提取

这类算法利用现勘图像低层数字特征向量之间的相似度来对现勘图像进行检索. 学者们根据不同种类

现勘图像数据的特色,提出了不同的特征提取算法以及与其相匹配的相似度计算方法。

车牌 图像预处理是车牌图像检索重要的一个步骤,图像清晰易读便于提取特征^[18,19]。文献[18]采用高斯滤波的方法对图像进行增强和重建,使图像中的关键点以及一些细节变得清晰,提高图像的可读性并采用自适应阈值算法和数字形态学算法来找到车牌边缘,根据车牌边缘定位车牌位置。文献[19]采用 Canny 边缘检测算子和灰度图像形态学运算来检测车牌边缘,提取车牌图像边缘特征。

鞋印 文献[21]提出采用脚印图像的强度值作为特征矢量,运用脚印形态学来分析检索,对脚印图像去噪后,将图像分割成几个小区域,计算图像每一块小区域的像素标准差,其计算公式如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - \mu)^2} \quad (1)$$

其中 μ 为像素均值, N 为像素总个数, x_i 为图像区域中的像素值,统计整幅图像的标准差直方图,将此直方图作为脚印图像的强度值特征进行检索。文献[22]提出对鞋底花纹的重复性(周期性)进行提取,用其傅里叶特征作为其低层特征。文献[23]采用 SIFT 算子来提取鞋印图像关键点的梯度和方向,构成特征向量,然后利用交叉相关的方法来计算两幅图像的相似度。文献[24]采用 Gabor 变换积分直方图来作为鞋印图像纹理特征进行检索。

纹身 文献[25]采用纹身图像的 SIFT 特征以及针对特殊点的特征提取来作为低层数字特征进行检索,由于 SIFT 关键点的特殊性,使得它在关键点匹配上准确率比其他特征高很多。对纹身图像提取特征构成图像特征矢量之后采用直方图相交法来进行相似度测量,其计算公式为:

$$d(H_1, H_2) = \sum_{i=1}^l \min(H_1(i), H_2(i)) \quad (2)$$

其中 H_1, H_2 分别为两个直方图, l 为直方图的分组总数(bin 的值)。

毛发 文献[27]提出采用 Gabor 滤波的方法来提取毛发图像的特征:方向特征、位置特征和强度特征。之后利用方向直方图与输入图像进行匹配,从而检索出结果。文献[28]同样采用 Gabor 滤波器提取毛发模式的毛发模式特征,计算毛发模式的方向直方图,再运用卡方距离进行相似度检测。其实验结果表明即使对低分辨率的图像,毛发模式也是一种有效的生物特征,而且 Gabor 滤波器与其他常用的纹理识别方法(例如局部二进制模式,局部 Gabor 二值模式)相比在毛发图像特征提取上占有优势。

轮胎花纹 轮胎花纹图像特征提取可以分为空间

域纹理特征提取算法和频域纹理特征提取算法。文献[30]提出了基于能量分布的曲波变换纹理特征提取算法,这种算法可以保证特征向量不因图像旋转而发生变化,对轮胎花纹的检索实验结果表明,这种算法的检索效率优于小波变换算法和曲波变换算法。文献[31]提出了结合 Radon 变换及双树复小波(Dual Tree Complex Wavelet Transform, DT-CWT)的轮胎花纹纹理特征提取算法。该算法降低了图像旋转和系数平移对于检索效率的影响,具有近似的旋转不变性。

多种混合现勘图像 文献[35]针对多种混合类别的现勘图像提出采用图像主导颜色描述符来作为颜色特征,灰度共生矩阵来作为纹理特征并结合梯度向量流获得的现勘图像边缘来构成现勘图像的低层数字特征向量,运用欧氏距离作为现勘图像特征向量间的相似性度量来进行检索。将这种方法运用在大的多种混合现勘图像数据库上,得到了较好的检索效果。这种算法的缺点是计算比较复杂,提取图像特征耗时较多。

分析 由于该领域目前缺乏标准测试数据库,我们难以通过实验对各数据库用不同算法进行测试比较。这里根据作者利用自己的实验数据所得的结果,做一些总结分析。多类混合现勘图像的低层数字特征提取相对单类现勘图像难度更大,比如对 5000 幅轮胎花纹图像^[33,34]用不同纹理特征进行实验,最高查准率可达 86%,而对混合多类的现勘图像^[1,17,32-35]用不同的颜色、纹理等特征组合进行检索实验,查准率目前最高达到 64%。

3.2 现勘图像高层语义学习

图像低层数字特征与高层语义之间存在的‘语义鸿沟’严重影响图像检索的准确率。为了消除语义鸿沟的影响,采用机器学习等算法进行图像高层语义分析,如图 2 所示,进一步提高检索准确率。现有的基于高层语义的现勘图像检索技术可分为:利用语义模板和数据库本体来提取高层语义特征;利用监督学习(supervised learning)或者无监督学习(unsupervised learning)。

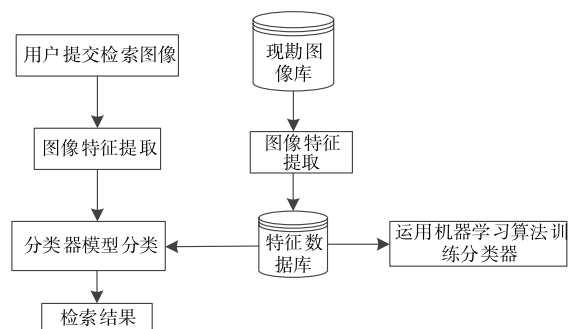


图 2 采用机器学习算法的现勘图像检索框图

(1) 利用语义模板和数据库本体来提取高层语义

特征

文献[32]通过对现勘图像的观察与分析,发现图像中的主要目标物体与图像类别具有联系,即区域语义与图像整体语义的关系,因此提出了基于语义模板的现勘图像检索框架,如图3所示.该算法主要分为用户提交查询、构建语义模板、预分类、图像排序几部分.

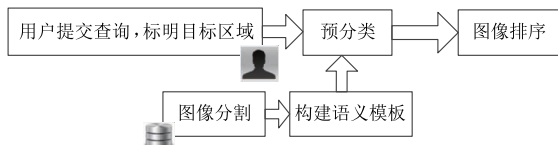


图3 基于区域语义模板的现勘图像检索框架

算法核心为:构建语义模板,在每一类的目标物体中选取较具代表性的五个区域样本,对这些样本提取其颜色特征(HSV 空间颜色直方图)和纹理特征(三层小波分解系数后各子带系数的均值和方差),计算各样本本区域特征的平均值,作为每一类目标物体的区域语义模板;当用户提交查询时用户已经标出感兴趣的区域,将查询图像中的感兴趣区域与所有区域语义模板进行对比,确定其所属于哪一类的“目标物体”,之后对数据库中所有包含查询目标物体的图像,分别计算其特征向量与查询图像特征向量间的距离,并排序.这种

方法缩小了检索的范围,提高了检索速度.在现勘图像数据库上的检索实验证明了所提出的现勘图像语义学习算法的有效性.为进一步提高该算法的检索性能,自动图像分割、更有效的区域模板定义都是值得进一步研究的环节.

(2)利用有监督或者无监督的机器学习算法获取高层语义特征

文献[33]设计出了一种两层体系刑侦图像检索方法,其检索流程图如图4所示.第一层对现勘图像库中的图像进行纹理特征提取构建特征数据库,利用特征数据库训练支持向量机(Support Vector Machine, SVM)分类器,之后利用分类器获取查询图像语义;第二层根据第一层所获得的查询图像语义在特定类别的图像库上运用按例查询框架(Query By Example, QBE)对查询图像进行检索.实验的结果表明:“多尺度分维数”和“MPEG-7 边沿直方图”特征在现勘图像数据库上的检索结果超过了一些经典算法,比如 Gabor 纹理特征和小波纹理特征.之后,使用“多尺度分维数”特征作为纹理特征结合 SVM,在包含外景、大门、指纹、鞋印、道路等 10 个类别 4501 幅现勘图像上做实验,实验结果表明,引入 SVM 机器学习算法获取图像语义特征,提高了检索的准确性.

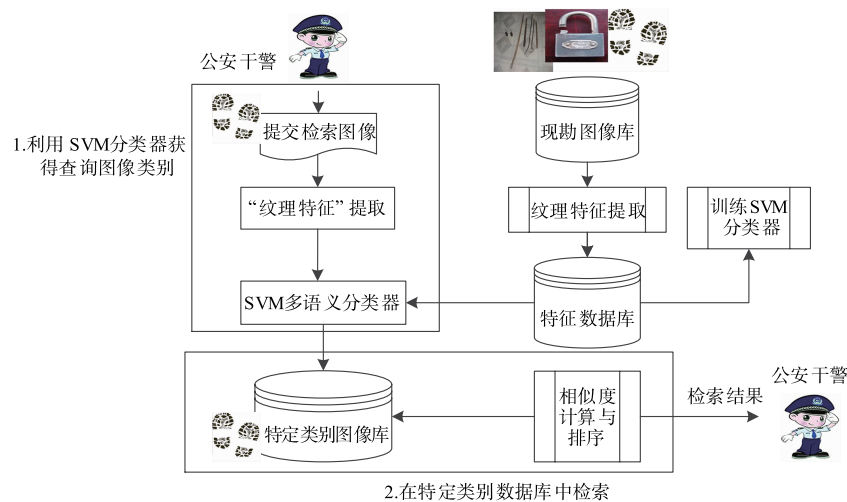


图4 一种两层体系刑侦图像检索方法流程图

有监督的机器学习算法除了 SVM 之外还有其他类型.文献[18]提取了车牌特征后采用 K-近邻(K-Nearest Neighbor, KNN)分类器来对特征进行识别.首先找到车牌每一个号码的轮廓,对于每一个号码轮廓提取它的平均距离(每一个白色像素到框架距离的平均值)与角度(每一个白色像素与水平方向夹角的平均值),将这两个特征作为车牌号码图像的低层数字特征,运用 KNN 分类模型,提取车牌号码.得到车牌号码之后就可以用车牌号码进行检索也可用车牌号码直接找到嫌疑

车辆.文献[20]提出采用自适应滤波器和线性加权神经网络的方法对从指纹中提取的特征进行训练识别.文献[29]对毛发图像提取其边缘之后采用人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)的方法来训练模型,利用训练出的模型对查询图像和数据库图像进行匹配.

无监督的机器学习算法运用数据训练分类模型时,训练数据并没有标记信息,算法自身在数据中找出规律,进行分类.这种算法针对无约束噪声情况下的鞋

印检测效果很好. 文献[26]采用词典模型(BOW 模型)来对纹身图像进行检索,其主要步骤为:(1)利用 SIFT 算子从纹身图像中提取特征,构成“视觉词汇向量”,这些向量代表了图像中局部不变的特征点;(2)集合所有特征点向量,利用 K 均值(K-means)合并词义相近的“视觉词汇”,构造单词表;(3)统计单词表中每个单词在图像中出现的次数,从而将图像表示成一个向量;(4)计算查询图像的词典模型向量与数据库中图像词典模型向量间的余弦夹角,根据余弦夹角进行排序,从而得到检索结果. 另外文章中采用了汉明嵌入(hamming embedding)来降低特征维度,提高检索速度. 还采用了弱几何一致性(weak geometric consistency)来对检索出的图像重新排列提高检索准确率. 文献[2]提出运用模糊 C 均值聚类算法(Fuzzy C-Means, FCM),将案件关键词构成的特征向量进行聚类分析,将相同特征的对象归为一类,检测案件是否为交叉案件以及属于哪几类案件交叉,从而实现自动串并案的分析. 文献[28]在用 Gabor 滤波器提取毛发图像低层数字特征之后用 K-means 和 KNN 聚类算法来对毛发图像进行分类并用卡方距离来进行相似度检测,从而得到最终结果. 文献[36]提出了运用多目标交互式学习(Multi-objective Interactive Learning, MIL)算法以及进化策略法(Evolutionary Strategies, ES)来锁定目标物体,追踪检索出与目标物体有所接触的所有图像.

(3) 引入相关反馈(relevance feedback)

将相关反馈引入到 CSIR 过程中,可以改善检索系统对图像的模糊判定,提高检索准确率. 文献[24]在比较输入鞋印图像的特征与图像特征库中特征时引入了相关反馈,首先人工判断参与比较的鞋印图像是否有残缺,如果有残缺则先通过积分直方图计算出残缺图像在完整图像中的最相似区域位置,再提取该区域的

特征,最后进行相似度计算.

分析 提取现勘图像低层数字特征后,利用低层数字特征训练分类器,在检索时,先对查询图像进行分类,之后再在这个类别中进行检索,这种检索方法能够充分利用分类器自动学习低层数字特征规律的优点,提高检索查准率,另外,先分类后检索这种方法能够缩小检索范围,缩短检索时间. 这种方法的关键在于低层数字特征的提取以及与低层数字特征相适合的分类器的选择.

作者在 5000 幅共 15 类现勘图像上做实验,提取了图像的 HSV 域颜色直方图、图像分九块,每一块的图像 DCT 域变换系数的均值、方差以及 R、G、B 三个通道的低频系数组成的向量作为图像纹理特征、GIST 特征这三种特征,并将这三种特征进行融合构成融合特征来训练 SVM 分类器,当采用线性核时,最后的平均分类准确率为 58%,当采用 RBF 核,利用网格搜索法寻找最优参数时,最后的平均分类准确率为 67%. 对查询图像先分类,再在这一类中进行检索,与直接在整个数据库中进行检索相比,查准率能够提高 5% 左右.

3.3 小结

现有现勘图像检索技术可分为两大类,如图 5 所示. 基于自然语言处理的现勘图像检索是将语言处理技术运用到检索过程中,这种方法可以减少用户输入的查询语言与现勘图像标注语言之间的语义差距,但其仍然需要人工标注图像. 基于内容的现勘图像检索利用图像的低层数字特征和高层语义特征来实现检索. 大量实验以及研究结果表明由于现勘图像自身内容的特点,传统图像特征提取算法并不适用于现勘图像,设计现勘图像特征提取算法时应该充分考虑现勘图像的特点.

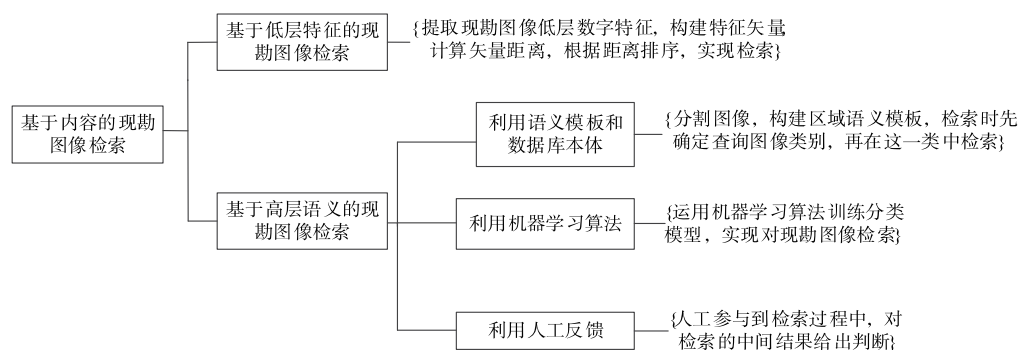


图 5 现勘图像检索算法分类图

4 现勘图像检索研究趋势

近年来 CSIR 越来越受到研究人员的关注,结合 CBIR 技术的发展,以及公安行业实际应用需求,本节

指出以下几点 CSIR 未来研究方向.

(1) 标准测试数据库建设

由于公安行业案件信息的保密性,实际现勘图像并不能随意获得与公开,学者们往往自建一些现勘数

数据库,例如鞋印、脚印、指纹.这些图像往往比实际的现勘图像清晰,而且目标物体明确,图像背景简单,有利于图像目标物体特征提取,检索的准确率也比较高.但实际现勘图像并非如此,如图6所示.目前,CSIR领域尚无公认的标准数据库.为了进一步集中学者们的研究力量促进CSIR领域的发展,并真正将科研用于实际应用需求,建设标准现勘图像数据库是当前重要的一项工作.



(a) 自建指纹 (b) 实际指纹 (c) 自建鞋印 (d) 实际鞋印

图6 自建现勘图像与实际现勘图像对比

(2) 引入公安行业经验,结合CBIR新技术,设计适用于现勘图像数据的检索算法

为提高CSIR的效率,可以从以下几个方面来考虑.首先,利用最新的图像检索技术比如深度学习等,并结合现勘图像自身特点设计适用的算法,这包括适用于单一特殊现勘图像数据库比如纹身、轮胎花纹、鞋印等的算法,或者用于综合多种类现勘图像数据的检索算法.深度学习技术在图像分类识别领域取得了令人瞩目的成绩^[14-16],其在CSIR领域的表现值得期待.其次,现勘图像比对具有行业特性,有时从图像内容角度判断为相似的图像,从破案角度并不相似;或从图像内容角度判断为不相似的图像,从破案角度却是相似的.干警的行业经验作为一种重要的先验知识,对提高现勘图像检索的性能很重要,可以人工反馈或有监督的训练等方式引入系统中.

(3) 现勘数据安全和图像检索的结合

由于现勘图像是重要的公安破案证据和线索,所以数据安全性的保障很重要,因此需要在现勘图像中嵌入不可见水印信息.嵌入不可见水印信息后,虽然现勘图像视觉上看不出变化,但其像素值却发生了变化,造成图像特征的变化,从而影响检索结果.如何在保证图像数据安全性的同时,尽可能地减小嵌入水印信息对图像检索性能的影响,是一个值得研究的课题.针对这方面的研究目前并不多见.文献[34]提出一种改进的Tamura纹理特征提取算法,实验证明该算法对加入水印的轮胎花纹图像仍然有效.

5 结束语

虽然图像检索技术发展已经相当成熟,但相关技术在现勘图像数据库上的应用还处于初级阶段.如何快速有效地从海量现勘图像数据库中检索出需要的信

息,越来越受到学者们的重视.本文介绍了目前学者们使用的各类现勘图像数据库,并对基于内容的现勘图像检索的技术现状进行了描述、分析和总结,主要集中在现勘图像低层数字特征提取及现勘图像高层语义特征学习.此外,结合实际应用需求,指出了现勘图像检索技术领域几个未来研究方向.

参考文献

- [1] 刘颖,范九伦,李宗,黄源,燕皓阳. 现勘图像数据库检索技术实例探讨[J]. 西安邮电大学学报,2015,20(3):11-20.
LIU Y, FAN J, LI Z, HUANG Y, YAN H. Case study on content-based image retrieval for crime scene investigation image database[J]. Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications, 2015, 20(3): 11-20. (in Chinese)
- [2] 韩宁,陈巍. 基于聚类分析的串并案研究[J]. 中国人民公安大学学报(自然科学版),2012,18(1):53-58.
HAN N, CHEN W. Research on serial case based on cluster analysis[J]. Journal of Chinese People's Public Security University(Science and Technology), 2012, 18(1): 53-58. (in Chinese)
- [3] 张琪. 图像检索在公安图像侦查领域的发展[J]. 中国安防,2015,(19):59-62.
ZHANG Q. The development of image retrieval in public security image detection[J]. China Security & Protection, 2015, (19): 59-62. (in Chinese)
- [4] LIU Y, ZHANG D, LU G. A survey of content-based image retrieval with high-level semantics[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(1): 262-282.
- [5] LIU Y. Semantic-Based Image Retrieval[M]. Beijing: Science Press, 2016. 1-191.
- [6] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [7] BAKAR S A, HITAM M S, YUSSOF W N J H W. Content-based image retrieval using SIFT for binary and grey-scale images[A]. IEEE International Conference on Signal and Image Processing Application[C]. Piscataway, USA: IEEE, 2013. 83-88.
- [8] DALAL N, TRIGGS B. Histograms of oriented gradients for human detection[A]. IEEE Conference on Computer Vision & Pattern Recognition[C]. Piscataway, USA: IEEE, 2005. 886-893.
- [9] LAZEBNIK S, SCHMID C, PONCE J. Beyond bags of features: Spatial pyramid matching for recognizing natural scene categories[A]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision & Pattern Recognition[C]. Piscat-

- away, USA; IEEE, 2006. 2169 – 2178.
- [10] PENG X, YAN R, ZHAO B, et al. Fast low rank representation based spatial pyramid matching for image classification [J]. *Knowledge-Based Systems*, 2014, 90 (C): 14 – 22.
- [11] SU J H, HUANG W J, YU P S, et al. Efficient relevance feedback for content-based image retrieval by mining user navigation patterns [J]. *IEEE Transactions on Knowledge & Data Engineering Archive*, 2011, 23 (3): 360 – 372.
- [12] CHEN Y, WANG J Z. A region-based fuzzy feature matching approach to content-based image retrieval [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 2002, 24(9): 1252 – 1267.
- [13] XU Shao-ping, LI Chun-quan, JIANG Shun-liang, LIU Xiao-ping. Similarity measures for content-based image retrieval based on intuitionistic fuzzy set theory [J]. *Journal of Computers*, 2012, 7(7): 1733 – 1742.
- [14] DENG J, DONG W, SOCHER R, et al. ImageNet: A large-scale hierarchical image database [A]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]*. Piscataway, USA; IEEE, 2009. 248 – 255.
- [15] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks [A]. *International Conference on Neural Information Processing Systems [C]*. USA: Curran Associates Inc, 2012. 1097 – 1105.
- [16] SZEGEDY C, LIU W, JIA Y, et al. Going deeper with convolutions [A]. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C]*. Piscataway, USA; IEEE, 2015. 1 – 9.
- [17] 刘颖, 黄源, 高梓铭. 刑侦图像检索中的特征提取及相似度度量研究 [J]. *西安邮电大学学报*, 2014, 19(6): 11 – 16.
- LIU Y, HUANG Y, GAO Z. Feature extraction and similarity measure for crime scene investigation image retrieval [J]. *Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications*, 2014, 19(6): 11 – 16. (in Chinese)
- [18] AZAD R, AZAD B, SHAYEGH H R. Real-time and efficient method for accuracy enhancement of edge based license plate recognition system [A]. *2013 First International CITADIM Proceeding-Scientific [C] [S. L.]: [s. n.]*, 2014. 146 – 155.
- [19] MAI V D, MIAO D, WANG R, et al. An improved method for Vietnam license plate location, segmentation and recognition [A]. *IEEE International Conference on Multimedia Technology [C]*. Piscataway, USA; IEEE, 2011. 2942 – 2946.
- [20] LYNCH M R, GAUNT R G. Applications of linear weight neural networks to fingerprint recognition [A]. *International Conference on Artificial Neural Networks [C]*. Britain; IET, 1995. 139 – 142.
- [21] OSISANWO F Y, ADETUNMBI A O, ALESE B K. Barefoot morphology: A person unique feature for forensic identification [A]. *International Conference for Internet Technology & Secured Transaction [C]*. Piscataway, USA; IEEE, 2015. 356 – 359.
- [22] KORTYLEWSKI A, ALBRECHT T, VETTER T. Unsupervised footwear impression analysis and retrieval from crime scene data [A]. *Asian Conference on Computer Vision [C]*. Germany: Springer International Publishing, 2014. 644 – 658.
- [23] LI Z, WEI C, LI Y, SUN T. Research of shoeprint image stream retrieval algorithm with scale-invariance feature transform [A]. *International Conference on Multimedia Technology [C]*. Piscataway, USA; IEEE, 2011. 5488 – 5491.
- [24] 黎向阳, 吴敏华, 施智平. 基于 Gabor 变换域积分直方图鞋印图像检索 [J]. *计算机应用与软件*, 2015, 32(3): 215 – 219.
- LI X, WU M, SHI Z. Shoeprint images retrieval based on integral histogram in gabor transform domain [J]. *Computer Application and Software*, 2015, 32(3): 215 – 219. (in Chinese)
- [25] KANAMADI M, BHOSLE D. Content based forensics tattoo image retrieval and identification method for database applications [J]. *Journal of Information, Knowledge and Research in Computer Engineering*, 2010, 3(2): 651 – 656.
- [26] MANGER D. Large-scale tattoo image retrieval [A]. *IEEE Computer and Robot Vision [C]*. Piscataway, USA; IEEE, 2012. 454 – 459.
- [27] SU H, KONG A W K. A study on low resolution androgenic hair patterns for criminal and victim identification [J]. *IEEE Transactions on Information Forensics & Security*, 2014, 9(4): 666 – 680.
- [28] SUDHAI K G, RASJESWARI S V. Hair patterns and skin marks for criminal and victim identification using RPPSM approach [J]. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 2015, 5(4): 65 – 66.
- [29] PRAVEEN R Joshi. Study of identification of criminals and dupe by androgenic hair patterns [J]. *International Journal of Current Advanced Research*, 2015, 4(10): 431 – 435.
- [30] 刘颖, 燕皓阳. 具有旋转不变性的轮胎纹理特征提取 [J]. *西安邮电大学学报*, 2015, 20(6): 10 – 13.
- LIU Y, YAN H. A rotation-invariant texture feature extraction method for tire pattern image [J]. *Journal of Xi'*

- an University of Posts and Telecommunications, 2015, 20 (6): 10 - 13. (in Chinese)
- [31] LIU Y, YAN H, LIM K P. Study on rotation-invariant texture feature extraction for tire pattern retrieval [J]. *Multidimensional Systems & Signal Processing*, 2017, 28 (2): 757 - 770.
- [32] HUANG Y, LIU Y. Study on region-based forensic image retrieval [A]. *Seventh International Symposium on Computational Intelligence and Design* [C]. Piscataway, USA: IEEE, 2014. 486 - 489.
- [33] 刘伟, 刘颖, 李大湘, 朱婷鸽. 一种两层体系刑侦图像检索方法 [J]. *西安邮电大学学报*, 2016, (06): 35 - 39.
LIU W, LIU Y, LI D, ZHU T. A two-phase hierarchical approach for crime scene investigation image retrieval [J]. *Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications*, 2016, (06): 35 - 39. (in Chinese)
- [34] LIU Y, LI Z. Study on texture feature extraction from forensic images with watermark [A]. *IEEE 9th Conference on Industrial Electronics and Applications* [C]. Piscataway, USA: IEEE, 2014. 1471 - 1475.
- [35] GULHANE S A. Content based image retrieval from forensic image databases [J]. *International Journal of Engineering Research & Applications*, 2015, 5 (3): 66 - 70.
- [36] ZHANG Qi, OERLEMANS Ard, BAKKER E M. Crime Scene Investigations Using Interactive Learning [EB/OL]. <http://press.liacs.nl/publications/technicalreports/2014.CrimeSceneInvestigations.pdf>, 2014-10-17/2015-10-06.

作者简介



刘颖女, 1972年1月生于陕西省户县, 教授、硕士生导师。2007年获得澳大利亚莫纳什大学博士学位。现为西安邮电大学通信与信息工程学院副院长、电子信息现场勘验应用技术公安部重点实验室总工程师, 主要研究方向为图像分析与检索。

E-mail: ly_yolanda@sina.com



胡丹女, 1990年10月生于河南省原阳县。2015年进入西安邮电大学通信与信息工程学院学习, 硕士研究方向为图像检索。

E-mail: hudandan803@163.com



范九伦男, 1964年11月生于河南省温县, 教授, 博士生导师。1998年获西安电子科技大学博士学位, 现为西安邮电大学校长, 主要研究方向为模糊信息处理、图像处理、信息安全等。

E-mail: jiulunf@xupt.edu.cn