

现勘图像检索技术

刘颖 著

非外借



科学出版社

现勘图像检索技术

刘 颖 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是作者基于数年来实际现勘图像数据,结合公安行业实际需求,在现勘图像特征分析及分类检索领域的代表性研究成果的总结。对现勘图像检索领域国内外研究成果做了综述分析;基于实际现勘图像数据,提出了有效的现勘图像特征提取及检索算法;结合实际需求,指出现勘图像检索领域未来几个研究方向。

综合理论深度、技术实用性、方法先进性及文字可读性方面的特色,本书可供现勘图像检索领域的科研工作者参考使用,对公安行业相关技术人员也有借鉴作用。

图书在版编目(CIP)数据

现勘图像检索技术 / 刘颖著. —北京: 科学出版社, 2017.10

ISBN 978-7-03-054380-6

I. ①现… II. ①刘… III. ①图象数据库—信息检索 IV. ①G254.927

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 216788 号

责任编辑: 宋无汗 杨 丹 赵鹏利 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 张克忠 / 封面设计: 陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 10 月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2017 年 10 月第一次印刷 印张: 9 3/4

字数: 150 000

定价: 85.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

大数据已经成为我们这个时代的巨大挑战之一，我们在被数据淹没的同时对信息极度渴求，迫切需要开发有效的、自动的分类和检索工具以应对不断增长的数据需求。刑侦现场勘验图像是公安机关在案发现场获取的与案件相关的图片，是现场勘验信息的重要组成部分。我国公安机关执行“有案必勘，勘验必录”原则，每个犯罪现场都会拍摄一定数量的图片并存入现勘系统，日积月累，形成了大量的现勘取证图像。现勘图像检索可为刑侦破案提供重要线索，并在串并案中起到重要作用，通常需要在案发后几个小时的黄金破案时间段内完成，以便能迅速有效地确定犯罪嫌疑人。而先手动分类、分析和标注每个图片，再与数据库中的大量图片进行比较的传统方式费时耗力，可能导致至关重要的案发后前几个小时黄金破案时间被浪费。因此，迫切需要一种自动、有效的现勘图像分类检索系统，以快速地从海量现勘图像中找到相关图像。现勘图像检索技术的研究具有重要的实际应用价值，对提高公安机关的工作效率、节省人力物力资源非常重要。

本书作者及所在团队依托西安邮电大学与陕西省公安厅联建的陕西省法庭科学电子信息实验研究中心及电子信息现场勘验应用技术公安部重点实验室平台，从事刑侦图像视频处理领域的研究。本书是作者数年来依据实际现勘图像数据，在现勘图像特征分析及分类检索领域的代表性研究成果的总结。

本书分为现勘图像检索（第 1~3 章）和轮胎花纹检索（第 4~6 章）两大部分。第 1 章描述了现勘图像检索领域国内外发展现状，对该领域目前的研究成果进行了总结、分类和分析。第 2 章比较了多种经典底层数字特征提取及图像分类算法在现勘图像这一特殊行业数据上的表现，并提出了改进算法。第 3 章初步探索了深度学习在现勘图像分类中的应用。第 4 章描述了轮胎花纹检索领域国内外研究现状。

第5章介绍了作者提出的基于曲波变换域能量分布特性的轮胎花纹水印嵌入和纹理特征提取算法,该算法将图像水印嵌入与图像特征提取相结合,在保证数据安全性的同时提高图像特征的效率。第6章介绍了作者提出的基于方向梯度直方图(HOG)域能量分布的轮胎花纹纹理特征提取算法及其在轮胎花纹检索中的表现。第7章总结了全书,并分析了现勘图像检索领域未来研究方向。

本书得到以下科研项目的支持:国家自然科学基金青年项目(基于特征融合的刑侦图像数据库检索算法研究,61202183)、陕西省教育厅科技计划专项(实用刑侦图像查询算法研究,12JK0504)、公安部科技强警基础项目(现勘图像安全与检索算法研究,2016GABJC51)。

本书的出版,离不开西安邮电大学图像与信息处理研究所(CIIP)科研团队的支持,特此感谢团队成员多年来对作者的厚爱,也非常感谢胡丹、葛瑜祥、燕皓阳、李宗、张帅、彭亚楠、黄源几位研究生在数据测试及书稿整理中所做的工作。此外,特别感谢西安邮电大学与陕西省公安厅联建的陕西省法庭科学电子信息实验研究中心及电子信息现场勘验应用技术公安部重点实验室在现勘图像数据及公安行业实际需求等资源方面的支持。

为满足数据保密性的要求,本书所用实际案例图像为经过选择和处理的例图。本书旨在抛砖引玉,希望能激发更多科研学者对图像处理技术与我国公共安全行业实际需求相结合的特色科研的兴趣,并希望对同行学者有一定参考价值。

限于作者水平,书中难免存在不足和疏漏之处,望广大读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 现勘图像检索综述	1
1.1 引言	1
1.1.1 现勘图像检索研究的意义	1
1.1.2 基于内容的图像检索	2
1.2 现勘图像数据库	4
1.3 现勘图像检索关键技术	9
1.3.1 现勘图像低层数字特征提取	9
1.3.2 现勘图像高层语义特征提取	13
1.4 现勘图像检索研究趋势	21
1.5 本章小结	23
参考文献	23
第 2 章 基于低层数字特征与高层语义特征的现勘图像检索技术	29
2.1 引言	29
2.2 基于融合特征与 SVM 分类的现勘图像检索算法	30
2.2.1 现勘图像低层数字特征的提取	31
2.2.2 特征融合	32
2.2.3 基于 SVM 分类的现勘图像检索机制	33
2.2.4 基于检索结果语义相似度的现勘图像检索机制	33
2.3 实验及结果分析	35
2.3.1 实验数据库及评价参数	35
2.3.2 结果分析	35
2.4 本章小结	39
参考文献	39
第 3 章 深度学习在现勘图像分类中的应用	42

3.1	引言	42
3.2	深度学习介绍	42
3.3	基于深度学习的现勘图像分类	44
3.4	本章小结	49
	参考文献	49
第4章	轮胎花纹检索研究	51
4.1	引言	51
4.2	轮胎花纹数据库及检索性能评价指标	51
4.2.1	轮胎花纹数据库	52
4.2.2	检索性能评价指标	56
4.3	轮胎花纹检索算法	61
4.3.1	轮胎表面花纹图像检索算法	61
4.3.2	轮胎花纹磨损图像检索算法	67
4.3.3	视频轮胎花纹图像检索算法	68
4.3.4	轮胎压痕图像检索算法	70
4.4	轮胎花纹检索未来研究趋势	73
4.4.1	标准数据库及检索性能评价体系	74
4.4.2	深度学习在轮胎花纹检索中的应用	74
4.4.3	轮胎花纹数据安全和轮胎花纹图像检索的结合	74
4.4.4	轮胎压痕图像与轮胎花纹图像的结合	75
4.4.5	视频轮胎花纹图像的大数据应用	76
4.5	本章小结	76
	参考文献	76
第5章	基于曲波变换域能量分布特性的轮胎花纹水印嵌入和纹理特征提取算法	82
5.1	引言	82
5.2	基于曲波变换的纹理特征提取	83
5.2.1	轮胎图像的曲波变换	83
5.2.2	轮胎花纹的纹理方向和能量特征	84
5.2.3	能量分布算法	85

5.2.4 纹理特征提取算法实验结果	87
5.3 基于曲波变换域能量分布的数字水印	89
5.3.1 水印嵌入	89
5.3.2 水印提取	90
5.4 数字水印算法结果分析	91
5.4.1 不可见性测试	91
5.4.2 鲁棒性测试	92
5.4.3 轮胎花纹检索测试	94
5.5 本章小结	96
参考文献	96
第 6 章 基于 HOG 域能量分布的纹理特征	98
6.1 引言	98
6.2 HOG 特征	99
6.3 基于 HOG 域能量分布的轮胎花纹纹理特征	101
6.3.1 图像预处理	101
6.3.2 HOG 特征提取	103
6.3.3 基于 HOG 域能量分布的轮胎花纹纹理特征提取	105
6.4 实验及结果分析	109
6.4.1 实验环境、数据库及检索性能评价指标	109
6.4.2 实验结果	111
6.5 本章小结	122
参考文献	122
第 7 章 总结与探讨	124
7.1 本书总结	124
7.2 未来研究方向	125
附录 CIIP-CSID 介绍	127
附录 1 现堪图像数据库介绍	127
附录 2 轮胎花纹图像数据库介绍	132
附录 3 SIFT 特征在轮胎花纹检索中的应用	136
参考文献	145

第 1 章 现勘图像检索综述

1.1 引言

现勘图像是公安机关在案发现场采集的与案件相关的图像，刑侦现勘图像检索（crime scene investigation image retrieval, CSIR）是获取破案信息的重要手段，对提高公安机关的工作效率有重要意义。虽然基于内容的图像检索（content-based image retrieval, CBIR）技术发展已经相当成熟，但学术界目前对现勘图像检索的研究并不多，这主要是由于数据源获取的难度大。本章首先介绍了现勘图像检索研究的意义与基于内容的图像检索；其次，总结了目前使用的各类现勘图像数据库及其特色；最后，在对大量相关文献进行分析后，对现勘图像检索关键技术的研究现状做了详细总结，结合实际需求分析了现勘图像检索技术的发展趋势，指出了未来几个研究方向。

1.1.1 现勘图像检索研究的意义

现如今，由于移动电话和互联网等先进技术的发展与应用，大量数据随之产生。然而，就像被海洋包围时却严重缺乏淡水一样，在被数据淹没的同时对信息极度渴求，迫切需要开发有效自动的分类和检索工具以应对不断增长的数字数据。在过去十年，人工智能（artificial intelligence, AI）被大量用于大数据分析和分类的研究中，近年取得了重大进展，让很多耗时工作的自动化变为可能^[1-5]。刑侦现场勘验数据是受人们大量关注的大数据主要类型之一，高分辨率相机，以及监控和大容量存储设备的普及，产生了大量的取证数据。刑侦数据的一个重要特点就是必须及时处理。犯罪现场，通常都会拍摄大量的图片。拍摄的图片需要尽快存档，以便后续处理分析并与包含更多图片的刑侦数据库

进行比较。因此,快速有效的现勘图像数据库检索对提高干警工作效率、节省资源,具有重要的实际作用^[6-10]。

1.1.2 基于内容的图像检索

1. 图像低层数字特征

图像低层数字特征(low-level digital feature)是用图像空间域或者变换域的统计特性描述图像内容的特征矢量^[11]。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^[4, 11]。除了传统的图像低层数字特征,近年来,亮度、平移、旋转、尺度等变化的具有鲁棒性的图像特征越来越受到重视^[12-16]。尺度不变特征变换(scale invariant feature transform, SIFT)特征是图像的局部特征,对平移、旋转、尺度缩放、亮度变化、遮挡和噪声等具有良好的不变性,对视觉变化、仿射变换也保持一定程度的稳定性,因此常被用于图像检索^[15, 16]。SIFT特征的缺点是计算量大、速度缓慢,并且对图像的适用性不是很强,如指纹、星图等这类图像特征点周围没有什么纹理, SIFT特征就会失效^[15, 16]。方向梯度直方图(histogram of oriented gradient, HOG)^[17]是用于目标检测的特征描述算子,其核心思想是一幅图像中的物体的表象和形状,可以用梯度或边缘的方向密度分布来描述^[18]。与其他描述子相比, HOG特征能很好地保持图像几何和光学形变的不变性,但不具备方向不变性。因此, HOG描述子特别适合图像中的人体检测^[17]。“词袋”(bag of words, BOW)是一种有效的图像表示方法,将图像特征看作词,视觉词袋就是局部图像特征对应的词出现的次数^[18]。词袋将图像表示为一组无序的局部特征集合,缺点是没有考虑图像的空间分布信息。空间金字塔匹配(spatial pyramid matching, SPM)是在BOW基础上改进而来的^[18],对图像进行分层细化的分割,并计算所得分块的特征点。最终,两幅图像的匹配是基于计算图像中对应分块的相似度。SPM被证明是一种非常有效的图像特征^[18]。

2. 图像相似度度量

获取图像特征后,图像间的相似度(不相似度)度量是决定检索性能的另一个重要环节。文献中通常采用特征空间的邻域搜索法,计算两幅图像特征矢量之间的距离。常用的相似度度量算法有欧氏距离、街区距离、切比雪夫距离、标准欧氏距离、卡方距离、直方图相交法、推土机距离(earth moving distance)^[19,20]等。上述这些常用度量方法都是基于图像特征空间分布的几何位置,这类方法的效果随着图像特征维度的增加而变差,这就是所谓的“维度灾难”现象^[21,22],其检索效果也随着数据分布的变化而变化。当维数增加时,特征空间的体积呈指数增加,数据变得很稀疏,判断图像的相似性变得困难。心理学实验表明两幅图像的相似度与测量的环境和邻近的其他图像有关。近年,Aryal等首次提出了与数据相关的相似度测量方法,即“ m_p -不相似度”测量,其测量的主要根据是在每个维度上,两个实例之间的不相似度是一个区域同时包含这两个实例的概率^[23,24],最终的不相似度由各个维度上的不相似度的 l_p -范数来表达。实验结果证明,这种方法能够提供更有效的图像匹配结果^[23]。

3. 图像高层语义特征

图像高层语义特征(high-level semantic feature)是将图像底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,通常选择事先定义的一组词汇来描述图像语义^[11]。除了传统的语义学习算法^[4],近年来,研究者将相关反馈(relevance feedback, RF)^[25]、径向基函数(radial basis function, RBF)网络^[26]、模糊理论(fuzzy theory)^[27]等用于基于内容的图像检索中,以引入更多的人机交互,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。而深度学习(deep learning)在计算机视觉领域最具影响力的突破是在2012年,Hinton的研究小组采用深度学习赢得了ImageNet^[28]图像分类比赛的冠军,训练和测试样本都来自于互联网图片,训练样本超过百万,目标是将测试样本分成1000类。Hinton的研究小组利用卷积网络在测试集上把Top5错误率大幅度降到15.31%^[29]。深度学

习从大数据中自动学习特征，而非采用手工设计的特征，这是它与传统模式识别方法的最大不同之处。2014 年在 ILSVRC2014 比赛中，深度学习又取得了重要进展，胜者 GoogLeNet^[30]大大增加了卷积网络的深度，甚至超过 20 层，将 Top5 错误率降到 6.65%，这在之前是难以想象的。

虽然 CBIR 技术已经发展多年，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，学术界目前关于现勘图像检索的研究相对较少。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 算法不一定适用于现勘图像检索^[31, 32]。要提高现勘图像检索的效率，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。CSIR 作为 CBIR 领域的一个特殊子领域，受到越来越多的关注^[31, 33, 34]。

1.2 现勘图像数据库

目前从事现勘图像检索的研究者，大多是通过与警方开展科研合作平台，获得来自警方的实际数据。对图像检索领域而言，现勘图像检索目前还只是一个小的子领域。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。这些研究者所用的现勘图像数据库多为来自特殊行业的实际数据，也有部分自建数据，主要有车牌图像数据库，指纹、掌纹图像数据库，鞋印、脚印图像数据库，文身图像数据库，毛发图像数据库，轮胎花纹图像数据库，CIIP 现勘图像数据库等^[35-63]。部分研究机构的现勘图像数据库如表 1-1 所示，例图如图 1-1 所示。

表 1-1 现勘图像数据库介绍

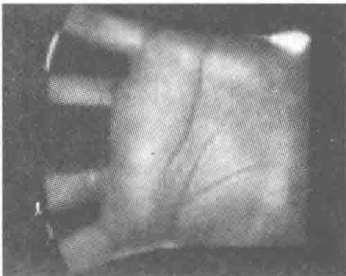
研究机构	数据库类别	数据库大小/张	例图
沙希德拉贾伊教师培训大学（伊朗）	车牌	1200	图 1-1(a)
南洋理工大学计算机工程学院 法庭科学和安全实验室	掌纹	7752	图 1-1(b)

续表

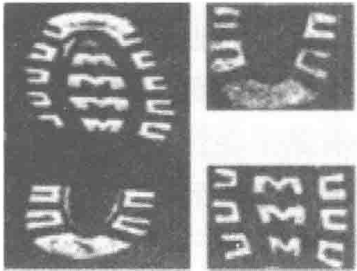
研究机构	数据库类别	数据库大小/张	例图
首都师范大学	鞋印	2000	图 1-1(c)
密歇根州立大学计算机科学与工程学院	文身	100000	图 1-1(d)
南洋理工大学	皮肤	1133	图 1-1(e)
西安邮电大学图像与信息处理研究所	综合	11456	图 1-1(f)



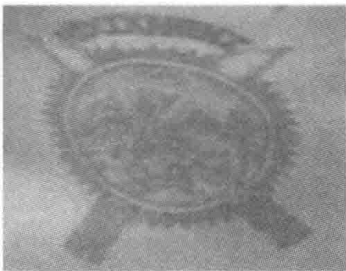
(a) 车牌



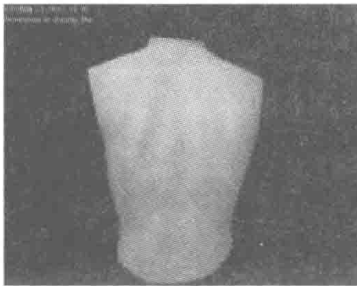
(b) 掌纹



(c) 鞋印



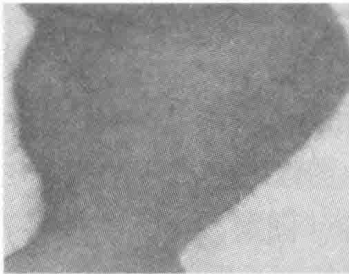
(d) 文身



(e) 皮肤



(f) 轮胎花纹



(g) 毛发

图 1-1 各类现勘图像数据库例图

1. 车牌图像数据库

车牌图像 [图 1-1(a)] 的检索和识别在交通监控、停车管理以及案件侦查中起着至关重要的作用。车牌图像在拍摄时存在着各种各样的现实原因,如拍摄设备质量、天气、光照等,会造成车牌图像的模糊。因此,车牌图像检索最重要的一个步骤就是对车牌图像进行预处理,使图像变得清晰易读^[35-41]。车牌图像检索的另一个重要步骤是车牌边缘检测,根据车牌边缘定位车牌位置,当车牌的位置确定以后,就可以提取关于车牌的特征,从而进行检索。

2. 指纹、掌纹图像数据库

指纹、掌纹图像 [图 1-1(b)] 作为重要的犯罪证据已被广泛应用。指纹识别与指纹图像检索技术发展相当成熟,而掌纹识别与掌纹图像检索技术的研究也已超过十年。指纹中有两个关键的点:指纹中心点和三角脊形结构。对指纹中的关键点进行特征提取后可实现对指纹图像的检索^[42-44]。

3. 鞋印、脚印图像数据库

鞋印图像 [图 1-1(c)] 的鞋底花纹可以帮助办案人员快速锁定犯罪嫌疑人,而鞋印、脚印的大小可以使办案人员掌握犯罪嫌疑人脚的尺寸,甚至可以推算出犯罪嫌疑人的身高体重。鞋印图像特征的提取主要针对鞋底花纹的特征,利用鞋底花纹的特征作为低层特征进行检索,而脚印图像主要是提取强度特征来作为脚印图像的低层特征^[45-52]。

4. 文身图像数据库

文身图像 [图 1-1(d)] 可以为鉴别嫌疑人身份提供有用的信息。文身图像具有不同于其他图像的特点:①文身在人身体的部位不同;②文身图案具有不同的内容(图案、文字、数字等);③相似的文身图案在人身体的部位和文身图案的主题都不同^[53-56]。

5. 毛发图像数据库

皮肤标志图案与血管图案是用于识别鉴定犯罪嫌疑人的重要依据,但是皮肤标志图案与血管图案对图像的像素要求往往比较高,而且在皮肤表面毛发茂盛的情况下血管与皮肤标志往往是无法看清楚的。医学研究结果指出,毛发模式是稳定的生物性状,因此在图像模糊或者毛发浓密遮挡住皮肤标志、血管的情况下可以用毛发来替代皮肤标志或血管来识别鉴定犯罪嫌疑人^[57]。通常,在基于内容的图像检索算法的基础上,针对毛发图像[图1-1(g)]的特点设计不同的检索算法来对毛发图像进行高效的检索^[57-60]。

6. 轮胎花纹图像数据库

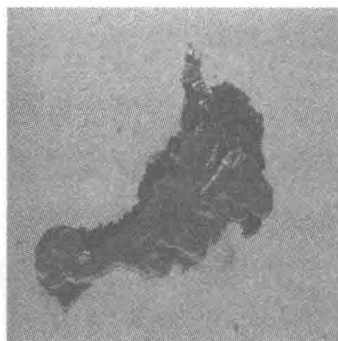
在事故现场,轮胎花纹图像[图1-1(f)]是重要的线索之一,不同厂家的车辆会使用不同花纹的轮胎,根据轮胎花纹,办案人员可以缩小嫌疑车辆范围,甚至锁定嫌疑车辆。轮胎花纹图像检索通常基于轮胎花纹的纹理特征,包括空间域纹理特征和频域纹理特征^[61-63]。

7. CIIP 现勘图像数据库

CIIP 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^[4, 32, 61, 62, 64-66]。CIIP 从公安系统获取了大量实际现勘图像作为实验测试数据(CIIP 现勘图像数据, CIIP crime scene investigation image database, CIIP-CSID), CIIP-CSID 包含了 15103 幅实际案例现勘图像,分为 17 个类别,包括生物物证、血迹、车辆、现场远景、室内场景、物证、现场平面图、作案工具、轮胎花纹、窗、鞋印、指纹等。部分数据例图如图 1-2 所示。



(a) 生物物证



(b) 血迹



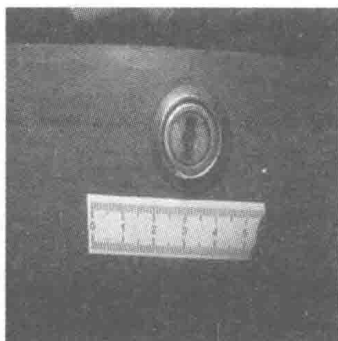
(c) 车辆



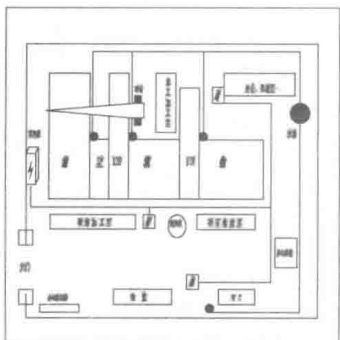
(d) 现场远景



(e) 室内场景



(f) 物证



(g) 现场平面图



(h) 作案工具

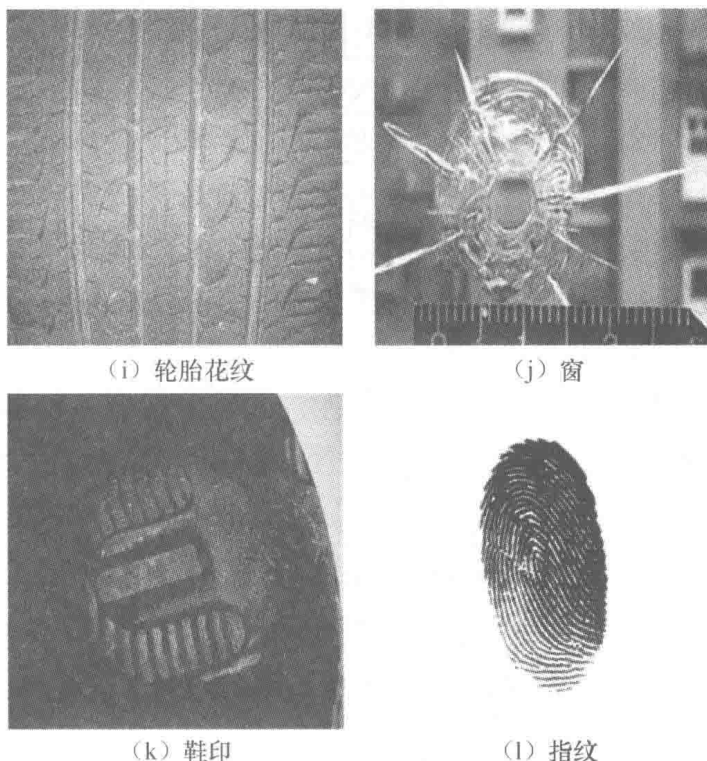


图 1-2 CIIP-CSID 现勘图像例图

1.3 现勘图像检索关键技术

以往文献中对现勘图像检索的研究,大部分针对某一类现勘图像,如文身数据库检索、鞋印数据库检索、毛发数据库检索^[35-63]。而随着大数据的出现,从多渠道、多种类大型现勘图像数据库中快速获取有效线索越来越受到重视。

现勘图像检索研究是在基于内容的图像检索技术基础上,根据现勘图像数据的特点进行改进以提高检索效率。本书根据现有的基于内容的图像检索技术^[35-63, 67],从现勘图像低层数字特征提取和高层语义特征提取两个关键技术环节来描述现勘图像检索的发展现状。

1.3.1 现勘图像低层数字特征提取

基于低层数字特征的检索算法利用现勘图像数字特征向量之间的相似度来对现勘图像进行检索。其算法流程图如图 1-3 所示。