

平面足迹计算机自动检验技术的研究^{*}

Research of the Plane Footprints Inspection in Computer

高光来 苏林英 叶新铭

(内蒙古大学计算机学院 呼和浩特010021)

Abstract A computer system for plane footprints inspection in forensic practice is introduced. Based on the techniques of Image Processing and Pattern Recognition, the plane footprints, which are two dimensional images, are captured into computer and they are processed and analyzed. The characteristics of the footprints will be quantified, therefore the characteristics from footprints left in scene of crime and those from samples of suspect can be compared and inspected.

Keywords Image processing, Pattern recognition, Forensic science

引言

平面足迹的分析检验在刑侦和司法实践中有着不可替代的作用。几十年来许多痕迹专家为此进行了大量卓有成效的研究和实践,总结了许多办案经验,也提出了多种有价值的检验方法。但这些方法大多是手工操作,标定和测量标准不一,非明确特征的识别受主观和经验影响。因而在实践中,出现检验不规范,标定不精确,形象描述模糊和检验标准不易把握等情况。为此,寻找一种能客观反映足迹特征,并能使用同一标准对其进行分析测量的方法,是实现检验规范化和自动化的关键所在。

针对以上问题,我们利用计算机图像处理和模式识别技术并结合内蒙古自治区公安厅在足迹检验方面的丰富经验,对平面足迹的形象特征进行了显示、标定、量化和识别,从而使检验达到了定量、规范和自动化的目的。利用计算机图像和图形处理功能,可以再现足迹的压力分布、鞋底花纹和磨损以及脚骨支撑的特征,并能准确加以标定和测量。以这些量化的特征数据为基础使用统计方法进行一致性检验,极大地提高了检验的准确度,这也是手工操作无法完成的。

1 系统概述

本系统以普通 PC 机为开发平台,配有 PC VIDEO 多媒体视频卡,图像的采集可用 CCD、数码相机和扫描仪,图像的采集窗口为 480×480 像素,图像的处理采用 YUV 格式,每个像素平均占用两个字节。在这个模式中,亮度(Y 称灰度)分量的范围是 0—127。软件按功能可以划分为:图像采集、图像处理、图像分析与测量、推断与检验、文件管理等模块。图像采集的功能是将足迹图像输入到计算机中。为

了方便用户的使用系统提供了多种图像输入方式。图像处理模块是对输入的图像进行处理,目的是使足迹特征的显示更加明显,用户更易于观察,为特征测量和量化做准备。图像分析与测量是将形象特征进行量化,这也是用计算机处理的优势所在。推断和检验是利用量化后的数据,依据统计学方法和经验公式完成的。以下各节详细介绍了几个重要模块的实现。

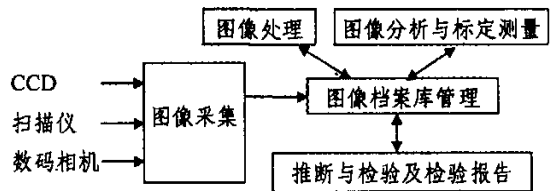


图1 平面足迹检验系统框图

2 图像处理

由于计算机图像可以客观地再现足迹的压力分布、鞋底花纹和磨损以及脚骨支撑的特征,而这些形象特征是足迹检验的基础,因此本模块是系统的重要模块。

在图像的几何处理方面,模块具有使窗口内选中的图像可以平移、任意角度的旋转和 X 轴、Y 轴相互独立的缩放。利用这些功能可以基本解决失真校正并为后续图像特征的形象比较奠定基础。

在图像的灰度处理方面,通过对图像的处理,如反视、线性拉伸、平滑、锐化、增强、方向滤波等,来提高原始图像的表现能力,突出特征,增强差异。图像的分层在本系统中有独特的意义。由于重压面(如前掌、后跟等)是检验的重点,压力的大小、面积与图像的灰度有对应关系,为了获取这些信息,可将图像按

^{*} 本课题是国家自然科学基金资助项目(批准号69962001)。

如下公式划分层次。

$$R = \frac{G}{n}, K = \frac{L}{R}$$

其中 G 表示图像的灰度范围, n 表示需要划分的层次。 L 表示图像 i 的灰度, K 是 L 所对应的层次。

根据输入图像的情况, 可以采用不同的方法进行处理, 目的是要清晰地显示足迹图像的特征, 为进一步分析测量和检验做准备。

3 图像分析、测量与特征获取

足迹图像经过处理后就进入图像的分析、测量和特征获取阶段。这部分处理的实质是对形象化的特征进行量化和特征提取, 为下一步的检验和推断提供数据。

3.1 纹理分析

纹理特征是足迹检验使用的重要特征, 鞋底的花纹和压力面的层次纹理特征都是非常明显的。用如下四个量来表示一个选定图像的纹理特征。

$$Q_1 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j)^2$$

$$Q_2 = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} (i-j)^2 p(i, j)$$

$$Q_3 = - \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j) \log_2 p(i, j)$$

$$Q_4 = \left[\sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} (i+1)(j+1)p(i, j) - \mu_1 \mu_2 \right] / (\delta_x \cdot \delta_y)$$

L 是图像的灰度范围, 在 YUV 格式时, $L = 128$, $p(i, j)$ 可由共生矩阵给出, 其他参数由如下公式给出:

$$\mu_1 = \sum_{i=0}^{L-1} (i+1) \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j)$$

$$\mu_2 = \sum_{j=0}^{L-1} (j+1) \sum_{i=0}^{L-1} p(i, j)$$

$$\delta_x = \sum_{i=0}^{L-1} (i+1 - \mu_1)^2 \sum_{j=0}^{L-1} p(i, j)$$

$$\delta_y = \sum_{j=0}^{L-1} (j+1 - \mu_2)^2 \sum_{i=0}^{L-1} p(i, j)$$

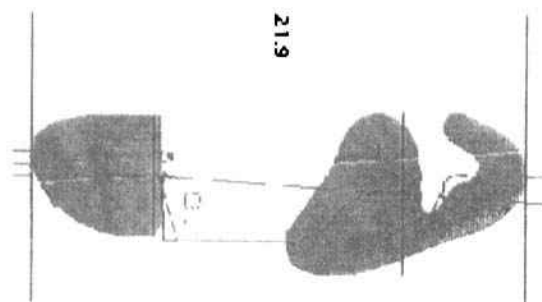


图2 量化后的足迹图像

3.2 几何特征

一是区域的长度和宽度, 比如整个足迹的长和宽、前掌压力面长和宽等。二是坐标点, 如前掌压力面的重心位置以及几何中心位置。三是面积, 如后跟压力面的面积。四是角度, 如各压力面重心的连线与水平方向和垂直方向所夹的角度。这些参数是足迹自动化检验所需要的量化特征。利用图像与图形处理知识是不难求出这些参数的。下面是压力面中心坐标的求解公式:

$$x_0 = M_{10}/M_{00}, y_0 = M_{01}/M_{00}$$

$$\text{其中, } M_{00} = \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^M L(x, y)$$

$$M_{01} = \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^M (y+1) L(x, y)$$

$$M_{10} = \sum_{x=0}^N \sum_{y=0}^M (x+1) L(x, y)$$

4 检验与推断

足迹图像经过特征量化处理后, 就可以根据统计学方法和经验公式进行检验和推断。这些推断和检验是以量化特征数据为基础的, 因而检验和推断的准确性有了很大的提高。

4.1 形象比对

形象比对是刑侦技术常用的方法。利用计算机进行形象比对是以量化后的图像特征为基础的。具体实现方法是待比对的两幅图像采集到处理窗口的左半部和右半部, 再进行图像处理和量化处理。如下是使用特征进行形象比较的算法:

图像一和二的特征分别用 V_1 和 V_2 表示

$$V_1 = (V_{10}, V_{11}, V_{12}, \dots, V_{1n})$$

$$V_2 = (V_{20}, V_{21}, V_{22}, \dots, V_{2n})$$

令两个向量 V_1 和 V_2 的相似系数为 $r(V_1, V_2)$, 认同域值为 th , 则 $r(V_1, V_2) > th$, 则可以认同两个足迹。相似系数的定义可以采用余弦法。

4.2 检验

在刑事检验技术中, 常用的是基于特征 T^2 的检验方法和基于特征的隶属度检验方法。本系统采用了以上两种检验方法。下面详细介绍隶属度检验方法。隶属度检验法来自于模糊数学。设 $x_0, x_1, \dots, x_k$ 是从现场测得的作案人的足迹特征的样本均值。论域 $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ 是嫌疑人的集合。设嫌疑人 u_i 的各项相应的足迹特征观测值为 $x_{i0}, x_{i1}, \dots, x_{ik}$ 。因此, 现场足迹类型是 u 的一个模糊子集, 记作 A , 定义 A 的隶属函数为:

$$u_A(u_i) = 1 -$$

$$\left[\frac{|x_0 - x_{i0}|}{a_0} + \frac{|x_1 - x_{i1}|}{a_1} + \dots + \frac{|x_k - x_{ik}|}{a_k} \right]$$

其中 $a_0, a_1, \dots, a_k$ 是个特征的权值。

设认同域值为 th , 则 $u_A(u_i) > th$ 表示可接受,

(下转第202页)

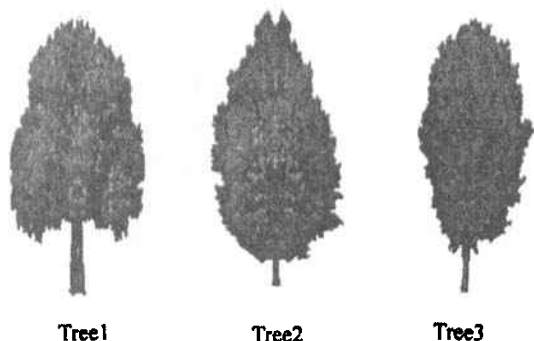


图4

3 两种建模方法的比较

通过分形算法和纹理贴图两种不同的方法生成树木,可发现其各自以下的优缺点:通过纹理贴图法生成树木的优点之一是简单快捷。它只需使用某些3D建模工具(如WorldUp)以及找到合适的纹理贴图即可,不必编写源代码。另外它生成的树木点数较少,较大地节省了系统开销。

此方法的缺点是真实性较差,特别是在视点较近时容易失真。另外灵活性不好。由于是先生成树木再由系统调用,随机性只能通过树木位置的排列来实现,树木外形不能改变。

通过分形算法生成树木的优点是真实性较好,树木立体感较强,不会因视角移近而产生失真现象。另外随机性强。由于是程序动态生成,通过改变递归的调用次数、树枝的旋转角度、树枝颜色及形状、树叶颜色和光照效果,可以生成外形各异的树木。分形

算法的第三个优点是调用方式灵活。它可以在OpenGL中生成并输出为某种格式的文件,然后在程序中调用,或是在程序中直接调用OpenGL算法动态生成。此方法的缺点是增加系统开销。其一是本方法生成的树点数较多,以一个通过四重递归生成的树为例:每个树枝由一个20个点的圆柱体构成,每个树叶由一个六个点的多边形构成。树干由 $1+3+3\times3+3\times3\times3=40$ 个圆柱体构成,也就是说光是树干就有 $40\times20=800$ 个点。而要生成较为真实的树,递归调用应在四重以上,这样在系统运行时会增加额外的负担。其二是若采用在系统运行时动态生成的方式,在递归计算上也会消耗一定的时间。另一个缺点是生成方式较为复杂,其开发周期较长。因为生成及调用都需要编程实现。

结束语 如上所述,两种方法各有特点,在实际应用于某个系统时,应综合考虑真实性、系统开销和调用的方便性等因素。笔者在所开发的三维视景仿真系统中,结合使用以上两种方法生成树,收到了较满意的视觉效果。

参考文献

- 1 陶志良,成迟慧,潘志庚,石教英.多分辨率BSP树的生成及应用.软件学报,2001,12(1):117~125
- 2 陈彦云,严涛,张鹏,吴恩华.基于分类及环境的数字真实感绘制.软件学报,2001,12(1):65~73
- 3 倪树祥,张雪兰,李元章.基于梯形道路的履带式车辆运动算法.火力与指挥控制,2001,12(4)
- 4 Sense8 Corporation. WorldToolKit Release 9 Reference Manual. April. 1999

(上接第204页)

否则把该 u_i 从嫌疑人当中排除。实践证明上述检验方法可靠程度较高。

4.3 推断

推断是根据经验公式,利用量化后的足迹特征数据推断作案人的身高、体重、性别等数据。

结束语 本系统已经在全国多家公安机关使用,并协助公安干警破获了一些大案和要案,在公安系统产生了很大的影响。这个系统为刑侦提供了量化和规范的平台。

参考文献

- 1 解云,张玉洁,等.步法定量化检验研究.第二届全国痕迹学学术交流.北京:群众出版社,1988
- 2 赵长安,等.平面粉尘层次特征的计算机识别.第三届全国痕迹学学术交流.北京:群众出版社,1992
- 3 Rhodes M L. Computer graphics and medicine: a complex partnership. IEEE Computer Graphics and Applications, 1997(1)
- 4 刘宁宁,田捷.基于区域特征的交互式图像分割方法及其应用.软件学报,1999,3
- 5 边肇祺,张学工.模式识别(第二版).北京:清华大学出版社,2000