

基于轮廓特征的平面鞋印 自动识别算法的研究和实现^{*}

管 燕^{1,2}, 李存华¹, 仲兆满²

(1. 扬州大学 信息工程学院, 江苏 扬州 225009; 2. 连云港师范高等专科学校 计算机系, 江苏 连云港 222006)

摘 要: 提出了一种基于轮廓特征的平面鞋印自动识别算法, 根据鞋印长度比任何一个部位的长度和宽度都长这一特点, 找到距离最长的两轮廓点, 算出由这两点确定的直线与水平方向轴所成夹角, 根据此夹角将鞋印图像进行倾斜校正, 然后自动提取鞋印轮廓九个特征, 利用欧氏距离进行鞋印的相似性度量。实验结果表明运用该算法进行鞋印识别是 very 有效的。

关键词: 轮廓特征; 轮廓提取; 倾斜校正; 鞋印识别

中图分类号: TP311 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2008)08-2413-03

Research and realization of recognition for shoe soles based on outline feature

GUAN Yan^{1, 2}, LI Cun-hua¹, ZHONG Zhao-man²

(1. School of Information Engineering, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu 225009, China; 2. Dept. of Computer, Lianyungang Normal College, Lianyungang Jiangsu 222006, China)

Abstract: This paper proposed a method of recognition for shoe soles based on outline feature, which found that the two outline points at the longest distance according to the feature that the length of shoe sole was longer than any other parts in a shoe sole, and then calculated the angle shaped by the two points and horizontal axes. It proofreaded the shoe soles in terms of angle calculated, extracted 9 features of shoe sole automatically, and measured the similarities of shoe soles by Euclidean distance. The experimental results show the method used to recognize shoe soles is effective.

Key words: outline feature; extracting outline; slant correction; recognition of shoe soles

0 引言

鞋印是作案者在作案过程中遗留在承受客体上的痕迹。平面鞋印的分析检验一直是侦察和司法实践中的难题。从目前国内鞋印检验工作的总体情况来看, 鞋印的诸多特征还需根据经验去目估判断, 对特征的很多认识都是定性的。尽管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, 也提出了多种检验方案。但归结起来, 这些方案大多是手工办案经验, 标定和测量的标准不一。目前国内出现利用计算机、数字图像处理技术进行鞋印识别^[1~9], 如 H. Su 等人^[5]提出一种基于鞋印直方图特征和纹理特征识别鞋印的方法, 该方法利用灰度共生矩阵和灰度直方图提取鞋印的纹理和直方图特征。由于承受客体不同、光线等因素的影响, 会出现同样的人穿同样的鞋踩出的两只鞋印的纹理和直方图特征不同。国内大连海事大学^[6~9]在鞋印识别研究中做了很多工作, 他们主要从鞋底的花纹着手, 对于花纹的识别, 分别采用人工和机器两种方法识别。人工识别的方法需要鞋底花纹的录入者必须是经过专门训练的, 但即使经过训练, 也不能保证鞋印花纹的录入的正确率达到 100%, 这样就影响了鞋印的识别率。由于鞋底花纹的种类繁多, 目前他们只提出了一些对常规花纹(圆形、方形、点等)的识别算法, 让机器自动识别出所有鞋底的花纹还是个难点。鞋印的轮廓不同于其他物体

的轮廓, 它可以用几何参数(鞋长、掌宽、弓宽、跟宽等)精确描述出来, 轮廓特征是鞋印的一个比较稳定的、重要的特征。本文提出了一种基于轮廓的平面鞋印自动识别算法, 该算法根据鞋印的轮廓特征进行匹配, 按相似度从高到低, 列出相似的前 20 幅鞋印图像由人工进一步识别。实验结果表明该方法具有快速、较好的识别率。

1 鞋印几何形状特征参数

鞋印的轮廓特征用几何形状特征参数进行描述, 鞋印分为鞋尖、鞋掌、鞋弓、鞋跟四个区, 所用几何形状特征参数主要有: a) 鞋长(最长轴), 鞋印轮廓上距离最大的两像素点的连线; b) 掌宽, 鞋印轮廓最宽处的宽度; c) 弓宽, 弓部最窄的距离; d) 跟宽, 跟部最宽的距离; e) 方位角, 鞋印最长轴与水平方向轴的夹角。

2 鞋印图像预处理

将目标从复杂的背景中分割出来是图像处理的关键技术之一。到目前为止, 没有任何一种算法能将目标从复杂背景中准确无误地分割出来。本文主要研究的是提取鞋印的有效轮廓特征, 进行鞋印识别。为了避免复杂背景的影响, 本文实验用的所有图像都是在浅色背景下拍摄的, 该背景和鞋印的颜色差别很大。因为鞋底的轮廓等同于鞋印的轮廓, 为了方便实

收稿日期: 2007-09-10; 修回日期: 2007-12-12 基金项目: 江苏省教育厅自然科学基金资助项目(06KJB520005)

作者简介: 管燕(1976-), 女, 安徽当涂人, 讲师, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理和模式识别(gy764@sohu.com); 李存华(1963-), 男, 江苏徐州人, 教授, 博士, 主要研究方向为图像处理和数据挖掘; 仲兆满(1977-), 男, 江苏赣榆人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为智能信息处理。

验, 本文拍摄的都是鞋底图像。对所有的鞋底图像进行预处理, 主要包括图像增强、噪声消除、灰度化、二值化、轮廓提取等。图像增强是按特定的需要突出一幅图像中的某些信息, 同时削减或去除某些无须处理的信息, 提高图像的可识别率。本文采用 Retinex 图像增强算法进行鞋底图像增强, 该算法具有锐化、颜色恒常性、动态范围压缩大、色彩保真度高等特点。彩色图像包含着大量颜色信息, 存储上开销大, 处理上也会降低系统的执行速度, 因为本文要提取的是鞋印的轮廓特征, 轮廓特征用几何参数进行描述, 无须颜色信息。首先采用经验公式: $\text{grey} = 0.30 \times R + 0.59 \times G + 0.11 \times B$ (grey 为灰度值, R 、 G 、 B 分别为红色、绿色和蓝色分量) 将彩色图像转换为灰度图像, 再利用最大熵原理来选择阈值对图像进行分割, 分割后整幅图像转换成二值图像, 即背景变为白色, 鞋印变为黑色^[10]。

3 轮廓提取、倾斜校正和特征提取算法

通过几何形状特征参数描述鞋印的轮廓特征, 其核心算法是鞋印轮廓的提取、倾斜校正、轮廓特征提取。为了便于算法的实现, 以上鞋印经过预处理之后都进行转动, 使脚尖朝上进行存储。

3.1 轮廓提取

对于二值化后的图像, 即鞋底图像是黑色, 背景是白色。本文采用逐行扫描的算法, 将每行的左起第一个黑像素点和右起第一个黑像素点的坐标记录下来。具体实现的代码如下:

```
void lunkuotiqu()
{
    h = 0; k = 0; flag1 = 1; flag2 = 1;
    for( int i = 0; i < m_pBIH ->biHeight; i++)
    {
        flag3 = 1;
        for( int j = 0; j < m_pBIH ->biWidth; j++)
            //逐行从左扫描, 找到左起第一个黑像素点
        {
            p = pw + ( SrcBufSize - LineBytes - i* LineBytes) + j;
            if( * p == 0)
            {
                flag3 = 0;
                if( flag1 == 1) { h = i; flag1 = 0;}
                a[i][0] = j; break;
            }
        }
        if( flag3 == 0)
        for( int k = m_pBIH ->biWidth - 1; k >= 0; k--)
            //逐行从右扫描, 找到右起第一个黑像素点
        {
            p = pw + ( SrcBufSize - LineBytes - i* LineBytes) + k;
            if( * p == 0) { a[i][1] = k; break; }
        }
        if ( flag3 == 0) &&( h > 0) { k = i; flag2 = 0;}
        if( flag2 == 0) break;
    }
}
```

该段代码中主要变量的作用是: $a[i][0]$ 存放第 i 行左起第一个黑像素点的纵坐标; $a[i][1]$ 存放第 i 行右起第一个黑像素点的纵坐标; h 用来标志逐行扫描出现的第一个黑像素点所在的行标; k 用来标志逐行扫描出现的最后一个黑像素点所在的行标; flag1、flag2 分别用来标志逐行扫描到的黑像素点是否第一个黑像素点和最后一个黑像素点; flag3 用来标志从左扫描有无黑像素点出现, 若无就没有必要再从右扫描。

通过该算法使鞋印的轮廓存储在一个二维矩阵中 $A = \begin{bmatrix} a_{h,0}, a_{h,1} \\ a_{h+1,0}, a_{h+1,1} \\ \dots \\ a_{k,0}, a_{k,1} \end{bmatrix}$ 。其中: $a_{x,0}$ 存放第 x 行左起第一个黑像素点的纵坐标; $a_{x,1}$ 存放右起第一个黑像素点的纵坐标; $h \leq x \leq k$, h 用来标志逐行扫描出现的第一个黑像素点所在的行标; k 用来标志逐行扫描出现的最后一个黑像素点所在的行标。

3.2 倾斜校正

鞋印实地拍摄过程中考虑光线的问题, 技术人员为了获取比较清晰的鞋印纹理, 需要调整拍摄的角度。这样拍摄下来的照片中鞋印会出现各种角度。在鞋印预处理时已将图像转动, 使鞋尖朝上, 但不能保证所有的鞋印图像的倾斜程度一致, 这就直接影响了后面的自动识别和浏览效果, 所以需要检测倾斜角度, 并转正图像。在鞋印的倾斜校正上, 本文根据鞋印长度比任何一个部位的长、宽度都长这一特点将方位角作为实际角度偏差加以调整。具体算法描述如下:

a) 求出鞋长(最长轴), 思路: 将鞋印轮廓上最长两点的距离作为鞋长。本文采用如下的计算公式: $l = \{ \max(\text{distance}((i, a_{i0}), (j, a_{j1})) \mid h \leq i \leq k, i \leq j \leq k) \}$ 。其中: $\text{distance}((i, a_{i0}), (j, a_{j1}))$ 为坐标 (i, a_{i0}) 的轮廓点与坐标 (j, a_{j1}) 的轮廓点的距离; h 为轮廓中最上面黑像素点所在的行标; k 为轮廓中最下面黑像素点所在的行标; a_{i0} 为行标 i 的左轮廓点的列标; a_{j1} 为行标 j 的右轮廓点的列标。为了提高执行效率, 避免重复求过的两轮廓点距离, 最长轴左边的轮廓点分别和最长轴右边所有行标大于等于左轮廓点行标的所有右轮廓点求距离。具体代码如下:

```
void qingxiejiaozheng()
// 求出鞋长, 同时记下鞋印最长两点的坐标
{
    l = 0; i1 = 0, j1 = 0, i2 = 0, j2 = 0;
    for( int m = h; m < m_pBIH ->k; m++)
    {
        if( abs( a[m][1] - a[m][0] ) > l)
        {
            l = abs( a[m][1] - a[m][0] );
            i1 = i2 = m; j1 = a[m][0]; j2 = a[m][1];
            for( int y = 0; y < 2; y++)
            {
                for( int n = m + 1; n < m_pBIH ->biHeight; n++)
                for( int z = 0; z < 2; z++)
                if( sqrt( ( a[m][y] - a[n][Z] ) * ( a[m][y] - a[n][z] ) + ( m - n ) * ( m - n ) ) > l)
                {
                    l = sqrt( ( a[m][y] - a[n][Z] ) * ( a[m][y] - a[n][z] ) + ( m - n ) * ( m - n ) );
                    i1 = m; j1 = a[m][y]; i2 = n; j2 = a[n][z];
                }
            }
        }
    }
}
```

b) 算出方位角 α , 即最长轴与水平方向 X 轴的夹角;
c) 如果 $\alpha \leq 90^\circ$, 则图像逆时针转动的角度为 $90^\circ - \alpha$, 如果 $\alpha > 90^\circ$, 则图像顺时针转动 $\alpha - 90^\circ$ 。

3.3 鞋印轮廓特征的提取

目前在实际办案中技术人员采用手工方式测量鞋长、掌宽、弓宽、跟宽, 这样会出现人为的偏差。为了避免特征参数测量不准, 给识别带来影响, 本文提出了自动提取鞋印的轮廓特

征。鞋印一般分为鞋尖、鞋掌、鞋弓、鞋跟四个区,每个区占整个鞋印一定的比例^[11],如图 1 所示。为了比较准确地描述出各分区的宽度,在图 1 描述的各分区的范围基础上,上下各扩大 5% 求其宽度。分别采用式(1)~(3)计算掌宽、弓宽、跟宽。

$$\max\{\text{distance}((x,a_{x,0}),(x,a_{x,1}))\}$$

其中: $\lfloor (k-h+1)\times 13\% \rfloor \leq x \leq \lfloor (k-h+1)\times 51\% \rfloor$ (1)

$$\min\{\text{distance}((x,a_{x,0}),(x,a_{x,1}))\}$$

其中: $\lfloor (k-h+1)\times 41\% \rfloor \leq x \leq \lfloor (k-h+1)\times 80\% \rfloor$ (2)

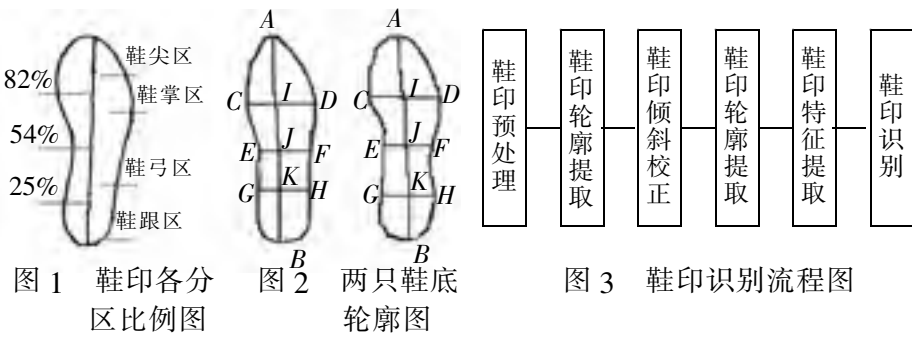
$$\max\{\text{distance}((x,a_{x,0}),(x,a_{x,1}))\}$$

其中: $\lfloor (k-h+1)\times 70\% \rfloor \leq x \leq k$ (3)

如果仅用鞋长、掌宽、弓宽、跟宽这四个参数来描述鞋印的轮廓特征是不够的,会出现这四个参数完全一致的两只鞋印轮廓完全不同,如图 2 所示。出现这种情况的主要原因是没有考虑掌宽处、弓宽处、跟宽处相对整个鞋的偏移位置,即各特征点的距离或夹角。本文中不仅考虑各部位的长宽度,还考虑各特征点的距离,距离就是反映掌宽处、弓宽处、跟宽处相对整个鞋的偏移位置。鞋印的形状特征向量描述为 $S=(CD/AB,EF/AB,GH/AB,AI/AB,AJ/AB,AK/AB,CI/CD,EJ/EF/GK/GH)$ 。

4 鞋印识别流程

鞋印识别的整个过程主要包括六大步骤,如图 3 所示。在流程图中出现两次轮廓提取,因本文轮廓提取是提取每行左起第一个黑像素点和右起第一个黑像素点,在鞋印倾斜校正前有可能同行上会出现两个以上的轮廓点,这样提取就会出现轮廓点遗漏的情况发生,但第一次轮廓提取是为了计算出鞋长(最长轴),并记下最长两点的坐标,便于下一步的倾斜校正,所以无影响。为了鞋印特征提取的准确性,倾斜校正后必须重新进行轮廓提取。



5 实验结果及分析

笔者对包含有 500 幅鞋底图像的数据库做实验。其中,鞋底库主要分为五类:皮鞋、运动鞋、休闲鞋、凉鞋、拖鞋。两幅鞋印图像是否相似是指鞋印图像的特征向量是否相似,将图像特征看做是向量空间中点,通过计算两个点之间的接近程度来衡量图像特征之间的相似度。在图像相似性度量中,可以采用各种距离函数或者距离度量、统计学方法和非几何相似性测度方法。本文采用欧几里得距离公式进行度量,在本系统中采用例子查询方式,计算其与鞋底库中的所有图像的相似度,然后将相似度从高到低的 20 幅图像排序后提交给用户,由用户进一步识别。为了验证该方法的实用性,从鞋底库中抽取 30 幅图像进行识别,从实验结果看,这 30 幅图像都可以在返回结果的 20 幅图像中找到相同的。图 4 为其中一幅示例,利用本文提供的基于轮廓特征鞋印识别方法进行识别,表 1 列出了与图 4 相似性从高到低的前十幅鞋印图像的特征向量,图 5 是表 1 相应的图像。从结果看,基于轮廓特征的鞋印识别方法符合人

眼的识别模式,具有很好的效果。

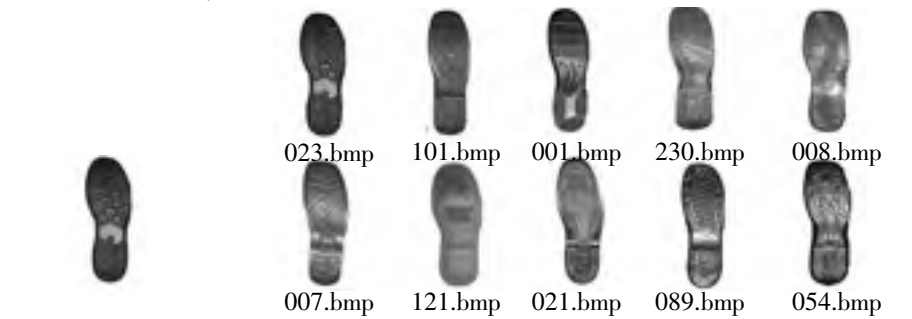


图 4 查询图像 图 5 与图 4 相似性从高到低的前十幅图

表 1 与图 4 相似性从高到低的前十幅鞋印图像的特征向量										
特征值	图像编号									
	023	101	001	230	008	007	121	021	089	054
1	0.320000	0.290323	0.283333	0.274194	0.333333	0.281633	0.354839	0.320000	0.285714	0.308642
2	0.200000	0.201613	0.208333	0.209677	0.229167	0.232653	0.241935	0.232000	0.204082	0.246914
3	0.240000	0.221774	0.241667	0.245968	0.250000	0.244898	0.282258	0.244000	0.236735	0.279835
4	0.240000	0.306452	0.291667	0.302419	0.312500	0.346939	0.314516	0.320000	0.318367	0.246914
5	0.600000	0.612903	0.579167	0.564516	0.666667	0.57551	0.604839	0.680000	0.595918	0.555556
6	0.760000	0.806452	0.825000	0.818548	0.854167	0.84898	0.798387	0.820000	0.816327	0.777778
7	0.562500	0.555556	0.485294	0.558824	0.512500	0.550725	0.477273	0.400000	0.318367	0.246914
8	0.600000	0.560000	0.560000	0.500000	0.545455	0.526316	0.483333	0.500000	0.595918	0.555556
9	0.550000	0.545455	0.517241	0.524590	0.600000	0.583333	0.457143	0.540984	0.816327	0.777778
欧氏距离	0.000000	0.0981044	0.1318295	0.14810580	0.1663482	0.17086370	0.2032362	0.2322231	0.3756073	0.3996357

6 结束语

本文提出了基于轮廓特征的平面鞋印自动识别,创新之处主要有以下两点:

- a) 根据鞋印长度比任何一个部位的长、宽度都长这一特点,用智能化算法找到距离最长的两轮廓点,记录这两点的坐标,并将这两点的距离作为鞋长,根据这两点算出方位角 α ,将鞋印图像进行倾斜校正,便于后面几何形状特征的自动提取。
- b) 提出一种鞋印轮廓特征的提取算法,该算法不仅考虑鞋印鞋长、掌宽、弓宽、跟宽,还考虑掌宽处、弓宽处、跟宽处相对整个鞋的偏移位置。

参考文献:

[1] LEXANDRE G. Computer classification of the shoeprint of burglar soles [J] . Forensic Science International, 1996, 82: 59-65.

[2] SAWYER N. SHOE-FIT: a computerized shoe print database[C] // Proc of European Convention on Security and Detection. London: [s. n.], 1995.

[3] ASHLEY W. The use of computerized image database to assist in identification[J] . Forensic Science International, 1996, 82: 67-79.

[4] GERADTS Z, KEIJZER J. The image data REBEZO for shoeprint with developments for automatic classification of shoe outsole designs [J] . Forensic Science International, 1996, 82: 21-31.

[5] SU H, BOURIDANE A, CROOKES D. Image quality measures for hie-rarchical decomposition of a shoeprint image [J] . Forensic Science International, 2006, 163 : 125-131.

[6] 吴志军. 鞋底花纹比对与分析系统的设计与实现[D] . 大连: 大连海事大学, 2004.

[7] 王福生. 基于纹理与形状特性的鞋底花纹自动识别算法的研究[D] . 大连: 大连海事大学, 2006.

[8] 柯少卿. 鞋印分块分类的研究[D] . 大连: 大连海事大学, 2006.

[9] 刘健康. 足迹图像处理方法研究[D] . 大连: 大连海事大学, 2006.

[10] 吴谨, 李娟, 刘成云, 等. 基于最大熵的灰度阈值选取方法[J] . 武汉科技大学学报: 自然科学版, 2004, 27(1) : 58-60.

[11] 高树辉, 王新淮. 现场鞋印档案管理及计算机辅助检索系统研究[J] . 公安大学学报: 自然科学版, 2003(2) : 69-74.