

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2018.04.013

# 一种车牌快速矫正算法

王诗钧,印佳奇,徐靖峰,李 振,梁久祯

(常州大学 信息科学与工程学院,江苏 常州 213164)

**摘要:**针对车牌识别中的图片倾斜矫正,提出了一种基于字符形态学特征,只需处理字符与字符之间的关系的算法。该算法通过枚举扫描线的倾角代替对整个图像的旋转,节省了对图像进行旋转操作的时间。与传统的 Hough 变换、Radon 变换以及近几年新兴的车牌矫正算法等方法相比较,该算法在保持高正确率的前提下,整体运行时间提高了 3~5 倍,减少了因车牌边框不明显而引起的误差,降低了水平矫正算法复杂度。实验结果表明,该算法效果良好。

**关键词:**车牌识别;倾斜矫正;连通量;扫描线;Hough 变换

**中图分类号:**TP 312

**文献标志码:**A

**文章编号:**2095-0411(2018)04-0076-11

## A Fast Algorithm for License Plate Recognition Correction

WANG Shijun, YIN Jiaqi, XU Jingfeng, LI Zhen, LIANG Jiuzhen

(School of Information Science & Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** The paper proposes a new algorithm based on the morphological characteristics of the character for license plate recognition image correction. The algorithm only processes the relationship between characters and characters. Instead of rotating the entire image, this algorithm enumerates scanning line's angle, which saves the time to rotate the entire image. Compared with the traditional Hough transform, Radon transform and new license plate correction algorithm in recent years, this new algorithm has its efficiency improved 3—5 times with higher accuracy and reduces the chances of errors caused by obvious license plate frame and the complexity of horizontal correction algorithm. The experimental results show that the algorithm works well.

**Key words:** license plate recognition; slant correction; the amount of communication; scan line; Hough transform

由于自然条件的影响,如光线的干扰、车牌自身的污损、摄像机等拍照系统分辨率的限制、雨雪大雾天气等因素都会影响车牌矫正的正确率。车牌矫正是车牌识别系统中的关键部分,车牌矫正的正确率

**收稿日期:**2017-12-15。

**作者简介:**王诗钧(1995—),男,江苏连云港人,硕士生。通讯联系人:梁久祯(1968—),E-mail: jzliang@cczu.edu.cn

**引用本文:**王诗钧,印佳奇,徐靖峰,等. 一种车牌快速矫正算法[J]. 常州大学学报(自然科学版),2018,30(4):76-86.

和速度直接影响到整个车牌识别系统的性能。据大量文献资料分析,对车牌矫正技术的研究依旧需要进一步完善。

中国对车牌矫正技术的研究开始于20世纪90年代后期,起步较晚,但是我国的科研人员在车牌矫正技术的研究上也取得了一定的成果。例如张思远等<sup>[1]</sup>针对车牌特点,提出了基于图像特征线的二值化阈值确定方法和针对车牌图像的倾斜矫正改进算法,在水平方向上采用Hough变换确定角度后进行旋转矫正,而在垂直方向上采用投影法进行变形矫正;葛海江,方江江,葛海江等<sup>[2]</sup>提出基于Radon变换的车牌倾斜矫正算法,对定位分割出来的车牌图像进行二值化,采用Sobel算子进行边缘检测,计算边缘图像的Radon变换,得到车牌图像的倾斜角度,对倾斜的车牌进行矫正等。与此同时,我国的许多单位也在车牌矫正开发工作中取得了一些成果,比如杭州海康威视数字技术股份有限公司、亚洲视觉科技有限公司、中智交通有限公司等都开发了属于自己的产品<sup>[3]</sup>。目前国内的车牌矫正算法大部分依旧是使用传统的Radon,Hough算法,都需要对整个图片进行一次遍历,可以得知计算量很大,如果要获得足够精度的倾斜角度,采用这些算法耗时较长,不能满足车辆牌照自动矫正的实时要求。当然,近几年也有一些新兴车牌矫正算法,如投影点坐标方差最小化车牌垂直倾斜校正算法<sup>[4]</sup>等,但这些新兴算法在无边框、污点多的车牌矫正方面,正确率都会明显下降,耗时也大大加长。

针对3种倾斜情况,提出一种新的矫正算法,进行有效快速处理。水平倾斜矫正的原理是在一个标准车牌中,必定存在一条直线,能与车牌的所有有效字符相切,此切线的倾斜角就是这个车牌的倾斜角;垂直倾斜矫正的原理是在一个标准车牌中,当字符垂直倾斜时,字符与字符的距离减小,当车牌转正时,字符与字符之间的总间距最大。该算法通过枚举扫描线的倾角代替对整个图像的旋转,节省了对图像进行旋转操作的时间。通过与传统的Hough变换、Radon变换以及近几年的新兴算法进行对比来分析该算法的高效性及其处理受自然条件影响的车牌矫正方面的优势。

## 1 传统车牌矫正算法

车牌倾斜分为3种,如图1分别为水平倾斜、垂直倾斜、水平垂直都有倾斜。

在实际车牌图片中,这3种倾斜所对应的实际情况如图2所示。

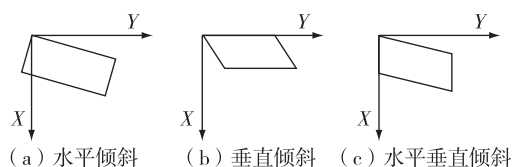


图1 车牌倾斜示意图

### 1.1 Hough 变换

Hough变换是目前常用的直线检测和倾斜矫正算法。它将空间中一个坐标系的点,映射到空间中另一个坐标系,从而将任意形状的检测转化为统计峰值的问题。例如,对于一条直线,直线的极坐标方程可以表示为

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

式中: $r$ 为原点到直线的距离; $\theta$ 为直线的倾斜角; $(x, y)$ 为平面上的点。因此极坐标系中任意

一点 $A(r, \theta)$ 对应平面直角坐标系的直线。而 $A(r, \theta)$ 的值,对应图像中在这条直线上的点的数量。当 $A(r, \theta)$ 的值越高,说明图像中的形状与这条直线的耦合度越高。

在车牌矫正中,Hough变换常用于处理二值化图像。由于车牌边框通常为一条白色直线,则可以通过Hough变换技术、枚举 $r$ 和 $\theta$ ,找到所有可能的点 $A(r, \theta)$ 的值。当 $A(r, \theta)$ 值最大时,其所对应

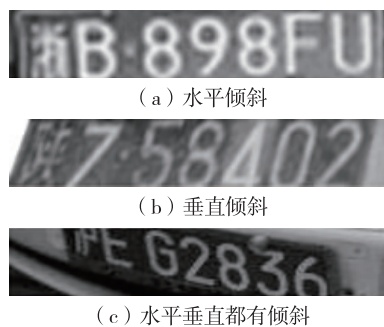


图2 实际车牌示例

的平面直角坐标系中的直线将与图片中的车牌边框重合,此时的  $\theta$  即为车牌的水平倾斜角。

在算法实用性上,Hough 变换通过枚举车牌水平倾斜角,分析车牌边框白线的形态学特征来矫正水平倾斜的车牌,具有精度高、鲁棒性好的优点,适用于各种照片拍摄环境。但对于车牌无边框的情况,Hough 变换则存在一定的局限性。

在算法复杂度方面,Hough 变换对枚举的每个角度  $\theta$ ,都要对图片进行一次遍历,以覆盖图中所有的倾斜角为  $\theta$  的直线。设图片的大小为  $N \times M$ ,枚举角度的个数为  $K$ ,最好的情况下,算法复杂度高达  $O(K \times M \times N)$ 。

## 1.2 Radon 变换

Radon 变换也是目前车牌矫正的主流算法之一。定义  $f(x, y)$  为一个二维函数。则 Radon 变换的定义为:

$$R_{\theta}(x') = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy' \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3)$$

它是  $f(x, y)$  平行于  $y'$  轴的线积分。

在车牌倾斜矫正中,Radon 变换常用于处理灰度图。由 Radon 变换的定义可知,对车牌做 Radon 变换,即求任意方向  $\theta$  上的车牌灰度值的投影。Radon 变换利用车牌边框为直线的特点,将图片的灰度值向一定的倾斜方向上投影,算出对应的积分值。最大积分值对应的倾角,即为这个车牌的倾斜角度。

在算法实用性上,Radon 变换通过求图片在某个方向上的灰度值的积分,根据车牌边框的形态学特征,确定车牌的实际倾斜角度。相比 Hough 变换,具有更高的鲁棒性及精确性,但也不适用于无边框的车牌。

在算法复杂度上,Radon 变换对枚举的每个角度  $\theta$ ,都要对图片进行一次遍历,以算出每个  $x'$  所对应的积分值。设图片的大小为  $N \times M$ ,枚举角度的个数为  $K$ ,最好的情况下,算法复杂度也高达  $O(K \times M \times N)$ ,且在算法求线积分的过程中,涉及大量的浮点数运算,因而实际运行速度更慢。

## 1.3 对比分析

在算法实用性方面,Hough 变换和 Radon 变换均通过枚举车牌水平倾斜角,分析车牌边框白线的形态学特征来矫正水平倾斜的车牌,抗干扰效果好、精度高,适用于各种照片拍摄环境。Radon 变换直接作用于灰度图,矫正正确率更高,但由于其中浮点运算较多,算法执行效率不及 Hough 变换。但是这两者完全不适用于车牌边框白线不明显或是无白色边框的情况,如图 3 所示。



图 3 车牌边框不明显示例

## 2 车牌的水平倾斜矫正算法

### 2.1 点到字符的距离

以图片左下角为原点,图片的水平方向为  $x$  轴,图片的竖直方向为  $y$  轴,建立笛卡尔直角坐标系。设一个字符  $A$  上的所有点构成一个点集  $E$ ,且在相应的笛卡尔坐标系上有一个点  $X(x, y)$ 。则点  $X$  到字符  $A$  的距离  $l$  可定义为

$$l(X, A) = \min(\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}), (x_0, y_0) \in E \quad (4)$$

## 2.2 中心字符

设车牌图片的长和宽分别为  $R$  和  $C$ , 则定义图片的中心点  $Q$ ,  $Q$  的笛卡尔坐标为  $(C/2, R/2)$ 。设有一个字符  $\alpha$ , 对于车牌上任意的一个字符  $\beta$ , 都满足表达式

$$l(X, \alpha) \leq l(X, \beta) \quad (5)$$

式中:  $l(X, \alpha)$  为点  $X$  到字符  $\alpha$  间的距离。这时则称字符  $\alpha$  是车牌图片的一个中心字符。

## 2.3 标记中心字符连通域

该算法用于处理二值化图像, 如图4所示。以图片左下角为原点, 建立笛卡尔直角坐标系。因为车牌边框和铆钉位于车牌的两侧, 距离中心字符有一定距离。且车牌中心光照较为均匀, 而污点多位于车牌四周, 车牌中心沾染污点的概率较小, 因而本文选择标记车牌中心字符的连通区域, 以将车牌污点的影响降到最小。

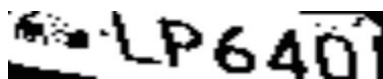


图4 车牌二值化图

设图片长和宽分别为  $R$  和  $C$ , 算法从该图片坐标为  $Q(C/2, R/2)$  处, 即图片的中心点处开始向周围遍历像素点。若像素点为白, 则继续向周围查找; 反之, 若像素点为黑, 则停止向周围查找, 并将这个点作为起始点, 通过广度优先搜索算法, 标记这个点所在中心连通域中的所有字符, 记中心连通域中的所有像素点构成的集合为  $Z$ 。

## 2.4 作出底部准线

在笛卡尔直角坐标系中, 直线方程由点斜式表示为

$$\frac{y - y_0}{x - x_0} = k \quad (6)$$

式中:  $k$  为直线的斜率且  $k = \tan\theta$ ;  $\theta$  为该直线与  $x$  轴的夹角。从而可得直线方程

$$y = \tan\theta(x - x_0) + y_0 \quad (7)$$

式中  $(x, y)$  是倾斜角为  $\theta$  的直线上的点。根据这个直线方程, 定义特征函数

$$F(x_0, y_0) = -x_0 \tan\theta + y_0 \quad (8)$$

式中函数  $F(x, y)$  的几何意义表示直线在  $y$  轴上的截距。

在得到中心连通域像素点集合  $Z$  之后, 该算法将枚举图片的倾斜角  $\theta$ 。在集合  $K$  中选取一个点  $D'(x', y')$ , 且对于任意点  $D(x, y) \in K$ , 都有  $F(x', y') \leq F(x, y)$ , 则称点  $D'$  为该字符在  $\theta$  方向上的最低点。

过点  $D'$  作一条倾斜角为  $\theta$  的直线, 则称该直线为车牌底部的一条准线。如图5所示, 图中准线通过字符“6”在  $\theta$  方向上的最低点  $D'$ 。

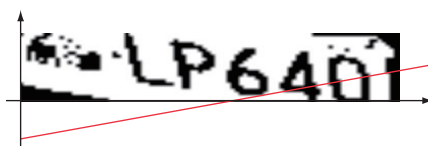


图5 车牌底部准线图

## 2.5 计算车牌水平倾斜特征值

定义车牌的水平倾斜特征值  $S(\theta)$ , 有表达式

$$S(\theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} V(x, \tan\theta(x - x_0) + y_0 - k) dx \quad (9)$$

式中  $k$  为一个正常数,且  $k$  足够小,  $(x_0, y_0)$  为车牌中心字符在  $\theta$  方向上的最低点。 $V(x, y)$  的值有如下映射关系

$$V(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{点}(x, y) \text{ 为黑色} \\ 1 & \text{点}(x, y) \text{ 为白色} \end{cases} \quad (10)$$

由车牌形态学特征可知,车牌字符底部的所有像素点应分布在一条直线  $L$  上。因此,过中心字符在  $\theta$  方向上的最低点  $D'$  作底部准线  $l$ 。若  $l \parallel L$ , 则直线  $l$  与  $L$  重合。此时若将直线  $l$  的方程变为

$$y = \tan\theta(x - x_0) + y_0 - k \quad (11)$$

式中  $k$  为一个正常数,且  $k$  足够小,即直线  $l$  向下平移一小段距离。此时,根据车牌的字符分布可知,直线  $l$  将与车牌中任意字符无焦点,表现在特征值上即为  $S(\theta) = 0$ 。 $k$  值在实际应用中的选取,应和实际拍照条件有关。

## 2.6 基于车牌水平倾斜特征值矫正车牌

该算法根据实际车牌的可能倾斜角度,遍历车牌的每一个可能的水平倾斜角  $\theta$ , 计算他们的水平倾斜特征值  $S(\theta)$ 。最后,在定义域内找一个角度  $\theta'$ , 满足对任意  $\theta$  都有  $S(\theta') \geq S(\theta)$ 。若车牌合法,  $\theta'$  有很大可能性为这个车牌的水平倾斜角。

将原图旋转  $\theta'$  角,得到变换过后的图片。根据中心字符连通域的点集  $K$ , 通过旋转公式

$$\begin{bmatrix} x' & y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (12)$$

可以得到中心字符旋转后所对应的坐标,从而算出中心字符相应的高度  $h$ 。

在获得中心字符的高度  $h$  后,可以确定整个车牌字符区域的高度也为  $h$ 。裁剪掉中心字符之上和之下的所有像素点,得到最终图片如图 6 所示。这步操作也可以达到去除铆钉的效果。



图 6 剪裁后的车牌示例

## 2.7 算法描述

车牌水平倾斜矫正算法描述如下:①利用广度优先搜索算法,标记中心字符的连通区域,得到一个像素点集  $K$ ;②枚举车牌可能的倾斜角度  $\theta$ , 根据像素点集  $K$  找出关于  $\theta$  的车牌底部准线  $l_\theta$ ;③利用车牌底部准线  $l_\theta$  计算车牌的水平倾斜特征值  $S_\theta$ , 若可能的倾斜角  $\theta$  已枚举完,进入④否则回到②;④在所有倾斜特征值  $S_\theta$  中找到一个角度  $\theta'$ , 满足对于任意  $\theta$  都有  $S(\theta') \geq S(\theta)$ ;⑤将图片顺时针旋转  $\theta$  角。根据中心字符的像素点集  $K$  旋转后的坐标得到车牌的高  $h$ 。根据  $h$  对图片进行裁剪得到水平矫正后车牌。

## 2.8 算法复杂度分析

假设车牌可能倾斜角度  $\theta$  有  $K$  个。该算法虽然枚举了  $K$  个旋转角度,但只遍历中心字符和以中心字符的最低点为基点作的一条水平线。假设中心字符的像素大小为  $n \times m$ , 可得算法的时间复杂度大约为  $O(K \times (n \times m + N))$ , 且很少涉及浮点数运算。假设整张图片的大小  $N \times M$ 。Hough 变换或 Radon 变换的算法复杂度高达  $O(K \times M \times N)$ 。由民用车牌字符的形态学特征可知,  $N \times M$  在数值上至少为  $n \times m$  的 10 倍。所以,从理论上来说,算法单纯在运行效率上要比 Hough 变换和 Radon 变换要高



出10倍甚至更多。

### 3 车牌的垂直倾斜矫正算法

#### 3.1 有效字符和一般字符

以字符左下角为原点,图片水平方向为 $x$ 轴,图片的竖直方向为 $y$ 轴,建立笛卡尔直角坐标系。

**定义:**设有一个字符 $\delta$ ,该字符的宽度为 $w$ 。若对于该字符,能够找到不同的2组点 $(x_{L1}, y_1)$ ,  $(x_{R1}, y_1)$ 和 $(x_{L2}, y_2)$ ,  $(x_{R2}, y_2)$ ,满足

$$x_{R1} - x_{L1} = x_{R2} - x_{L2} = w \quad (13)$$

则称该字符为一个有效字符,反之,则称该字符为一个一般字符。例如,“B”是一个有效字符,而“A”是一个一般字符,如图7所示。

**性质1:**若图像向右发生垂直倾斜,对于一个有效字符,经过倾斜后依然可得2组点 $(x_{L1}, y_1)$ ,  $(x_{R1}, y_1)$ 和 $(x_{L2}, y_2)$ ,  $(x_{R2}, y_2)$ ,满足

$$x_{R1} - x_{L1} = x_{R2} - x_{L2} = w \quad (14)$$

假设 $y_2 > y_1$ ,在经过垂直倾斜变换后, $x_{R2} > x_{R1}$ ,经过垂直倾斜变换后的有效字符的宽度为

$$w' \geq (x_{R2} - x_{R1}) + (x_{R1} - x_{L1}) \quad (15)$$

即

$$w' \geq C + w \quad (C > 0) \quad (16)$$

因此向右倾斜后有效字符的宽度 $w' > w$ ,如图7所示,向左倾斜的情况同理。

**性质2:**对于一般字符,如字符A。设倾斜后的宽度为 $w'$ ,则 $w' \geq w$ ,如图7所示。



图7 字符样例

#### 3.2 车牌字符的斜间距

**定义:**对与 $x$ 轴夹角为 $\theta$ 的直线,有方程

$$y = \tan\theta(x - x_0) + y_0 \quad (17)$$

定义函数

$$T(x_0, y_0) = x_0 - y_0 \cot\theta \quad (18)$$

设有2个字符 $\delta$ 和 $\zeta$ ,不妨设字符 $\delta$ 在 $\zeta$ 的左边,若点 $A(x', y') \in \delta$ ,且对任意 $(x, y) \in \delta$ ,都有 $T(x', y') \geq T(x, y)$ ;若点 $B(x'', y'') \in \zeta$ ,且对任意 $(x, y) \in \zeta$ ,都有 $T(x'', y'') \leq T(x, y)$ ,则这两个字符关于 $\theta$ 的斜间距为

$$W = T(x'', y'') - T(x', y') \quad (19)$$

即以A点和B点分别作2条倾斜角为 $\theta$ 的平行线间的距离,如图8所示。

**性质:**有效字符左倾时,若右边为一般字符,则该有效字符与左边字符的垂直间距缩小,在一定范围内与右边的字符垂直间距保持不变。

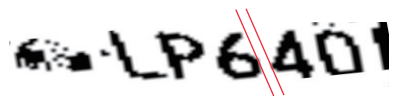


图8 字符间距平行线

由3.1中的性质2可知,若一个字符为一个有效字符,则该字符与两边字符的间距会发生变化,且在字符垂直的时候,间距必定最大。推广到斜坐标系上,可得下述推论。

**推论:**若定义域内有一个角 $\theta$ ,对任意角度 $\varphi$ ,其对应的斜间距和为 $P_\theta$ ,都满足 $P_\theta \geq P_\varphi$ ,则该角度 $\theta$ 有很大可能是这个车牌的垂直倾斜角。

### 3.3 斜间距和的估算

斜间距和是车牌中所有相邻字符之间的斜间距的和。该算法构造一条倾斜角为  $\theta$  的直线,然后将这条直线自左往右(或自右往左)平移。

设定一个累加器 Acc,直线每次平移到一个位置时,若无像素点经过这条直线,则 Acc 加 1。直线平移到车牌末端后,得到 Acc 的值为  $P$ ,此时  $P$  可以近似地认为是这个车牌图片的斜间距和。

在图片清晰无污点的情况下,估算结果  $P$  等于这个车牌的实际垂直间距和。

### 3.4 确定垂直倾斜角

以图片垂直倾斜角度  $\theta$  为横轴,相应的斜间距和  $P_\theta$  为纵轴,可得到类似于如图 9 所示曲线。

找到这个曲线的最高点对应的  $\theta$  值,即在定义域内找到一个角度  $\theta'$ ,对于任意角度  $\theta$  都满足  $P_{\theta'} \geq P_\theta$ 。若车牌合法,则  $\theta'$  有很大可能性为这个车牌的垂直倾斜角。因此图片垂直倾斜  $\theta$  后,可以得到垂直矫正后的车牌,如图 10 所示。

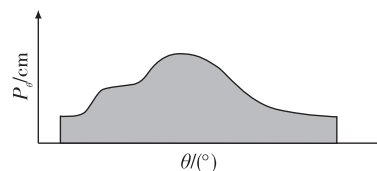


图 9 垂直倾斜度曲线图



图 10 垂直矫正后的车牌

### 3.5 算法描述

车牌垂直倾斜矫正算法描述如下:①枚举车牌的垂直倾斜角  $\theta$ ;②估算车牌关于倾斜角  $\theta$  的车牌的字符斜间距和  $P_\theta$ ;③若所有可能的垂直倾斜角已枚举完进入 4) 否则回到 1);④在所有的车牌字符斜间距和  $P_\theta$  中找到一个角度  $\theta'$  使得定义域内任意  $\theta$  都有  $P(\theta') \geq P(\theta)$ ;⑤将图片向左垂直倾斜  $\theta$  角,用车牌字符特征确定车牌左右边界,经裁剪得到矫正后的车牌。

### 3.6 算法实用性分析

广泛适用性:对于国内民用车牌而言,汉字较为复杂,大部分中文为有效字符,少部分为一般字符,可以近似地认为,一个车牌的最左边必然会出现一个有效字符(即中文字符)。由 3.2 中的性质可知,字符左倾时,该字符与其右边相邻字符垂直间距不变,这使得中文字符的车牌无法应对车牌右倾的情况,此情况可能导致算法矫正出现较大误差甚至错误。但在车牌图片有边框的情况下,边框可以看作一个有效字符,因此该算法依然适用。在车牌无边框的情况下,车牌中只需要再出现一个及以上有效字符,该算法也可适用。

算法局限性:若车牌既无边框,也无除中文外的任一有效字符,对于这种情况,任意一个字符在一定范围内倾斜,不能对整体的垂直间距和产生影响。该算法在这方面存在局限性。

对比分析:在正确率上,该算法能够矫正 Radon 变换和 Hough 变换适用的所有车牌。对于 Radon 变换和 Hough 变换不适用的大部分无边框车牌,该算法也能正确矫正。在算法复杂度上,设整张图片大小为  $N \times M$ ,一共枚举了  $K$  个角度,且对于每一个角度,都遍历了整张图片,该算法的算法复杂度为  $O(N \times M \times K)$  和传统算法基本相同。但是对于每个倾斜角度,该算法都只运行了一次浮点运算,因此算法的速度和准确率都能达到较高的水平。

实验总结:本文介绍的 2 种算法分别适用于处理垂直倾斜车牌和水平倾斜车牌。因为水平倾斜矫正算法可以将水平和垂直都有倾斜的车牌图片矫正为只有垂直倾斜的车牌图片,所以只需将图片先进行水平倾斜矫正,再进行垂直倾斜矫正,即可获得矫正后的车牌。

算法在应用时,无需判断车牌的倾斜类型,只需按序进行水平倾斜矫正和垂直倾斜矫正,即可矫正水平倾斜、垂直倾斜以及水平垂直都有倾斜的车牌图片。

## 4 实验结果与分析

实验运行在 Intel Core i5 2.6 GHz 处理器、4GB RAM、Seagate 1TB 5400 转机械硬盘、Windows 10 操作系统的软硬件环境下,使用 Code::Blocks 集成开发环境,C++ 语言进行编程。测试时后台进程完全关闭,仅使用一个线程,无多线程辅助。

测试图片均来源于某大学校内停车场及其周边的停车场,图片分辨率统一为 1 080P,保存于硬盘中,并将结果也写入硬盘。

测试分为单独测试和对比测试。进行单独测试的图片共 50 张。其中包括无倾斜图片、水平倾斜图片、垂直倾斜图片、水平和垂直都有倾斜的图片、有边框车牌和无边框车牌以及有较多污点和较少污点的车牌等。

### 4.1 矫正实验结果分析

本次实验共采用 50 张车牌图片作为测试数据,正确矫正 45 张,模糊矫正 3 张,矫正结果有较大误差 2 张。对于矫正有较大误差的车牌图片,程序在进行水平矫正的情况下正常,在进行垂直矫正时出现较大误差,主要是因为光线过强、车牌受光不均匀、图片二值化后污点较多、相邻两个有效字符连通块出现粘连现象难以分离计算其垂直间距以及车牌上无其他有效字符和边框作为参照对象等,导致矫正误差过大,甚至矫正失败。

通过对程序运行时间的研究发现,对于高分辨率图片,车牌矫正时间较长,最长能够达到 2 000~3 000 ms。对于低分辨率图片,车牌矫正时间明显缩短,可低至 300 ms。由于车牌图片分割后的归一化过程仍需要压缩图片,且该算法对图片分辨率的要求不是很高,因此,该算法可以考虑将高分辨率图片进行适当压缩后再进行矫正,以节省程序运行时间,提高程序运行效率。

### 4.2 水平倾斜矫正算法对比实验

在对比实验中,该算法与传统的 Hough 变换、Radon 变换以及近几年的多种新兴算法进行对比。所有算法程序在相同软硬件环境下运行,并且使用相同的图片旋转算法、垂直倾斜算法以及图片存储方法等,以避免其他因素影响测试结果。算法程序均经过多人检测,未出现明显程序逻辑错误和内存泄露等现象。

#### 4.2.1 车牌边框对水平倾斜矫正算法的影响

先测试边框对算法运行结果的影响。一共测试图片 100 张,有无边框车牌图片各 50 张。测试图片取自不同环境下拍摄的不同车牌的照片。实验结果见表 1,其中算法 3 为基于字符特征的车牌倾斜矫正算法<sup>[5]</sup>,算法 4 为融合 Hough 与 Radon 变换的车牌倾斜校正算法<sup>[6]</sup>,算法 5 为一种新的车牌倾斜校正方法<sup>[7]</sup>,算法 6 为车牌识别中倾斜牌照的快速矫正算法<sup>[8]</sup>,算法 7 为车牌识别中的倾斜车牌校正算法<sup>[9]</sup>,算法 8 为一种车牌图像几何矫正的简易快速算法<sup>[10]</sup>,算法 9 为基于 SSIM 的车牌识别算法<sup>[11]</sup>。

表 1 边框对水平倾斜矫正算法的影响对比表

	平均时间/ms	正确率/%		
		有边框	无边框	总计
Hough 变换	1020	88	4	41
Radon 变换	1580	94	2	48
算法 3	1250	92	89	91
算法 4	995	93	91	92
算法 5	1352	92	1	47
算法 6	962	85	3	44
算法 7	621	90	2	46
算法 8	977	88	86	87
算法 9	1721	95	91	93
该算法	352	92	90	91



根据实验的输入数据和输出数据的对比可以得知:在正确率方面,算法 9 的正确率最高,但总体而言,这些算法在有边框时正确率差距不大;但当车牌边框有污点时,Hough 变换、Radon 变换、算法 5、算法 6 和算法 7 易出现误差甚至错误,并且这 3 种算法矫正结果受制于预处理时的二值化算法,从而可以得知,当车牌无边框或边框不清时,这些算法均无法正确矫正,而算法 3、算法 4、算法 8、算法 9 和该算法在车牌无边框的情况下能够保证较高的正确率。

在算法平均运行时间方面,该算法避免了浮点运算以及对整张图的遍历,算法平均运行时间要明显低于其他算法,运行效率能达到其他算法的 3~5 倍。算法 9 能达到相当高的正确率,但因其初始化过程的繁琐,导致算法复杂度较高,平均运行时间较长。

4.2.2 图像污点对水平倾斜矫正算法的影响

本轮实验共使用 100 张图片作为测试数据,测试图片取自不同环境下拍摄的不同车牌的照片。测试人员通过二值化算法对这 100 张图片进行二值化,并在二值化的图片中,将其分类为无污点图片、有较少污点图片和有较多污点的图片。本次实验保证所用的车牌图片均有清晰边框,实验结果见表 2。

根据实验的输入数据和输出数据的对比可以得知:在正确率方面,该算法和其他大部分算法在图片污点数量不同的情况下,均保持较高正确率,鲁棒性好,对污点较多的图像也能以较高正确率矫正。其中算法 9 正确率最高,鲁棒性最好。

在算法平均运行时间方面,在保证正确率和硬件条件均一定的情况下,该算法的平均运行时间比其他算法的平均运行时间短。

表 2 污点对水平倾斜矫正算法的影响对比表

	平均时间/ms	正确率/%		
		无污点	少污点	多污点
Hough 变换	1511	100	94	86
Radon 变换	2027	100	98	88
算法 3	1412	100	92	75
算法 4	1532	100	95	84
算法 5	1622	100	93	86
算法 6	1201	96	94	82
算法 7	985	100	92	83
算法 8	1383	98	87	71
算法 9	2532	100	96	90
该算法	550	100	94	88

4.3 垂直倾斜矫正算法对比实验

4.3.1 车牌边框对垂直倾斜矫正算法的影响

本轮实验共使用测试图片 100 张,有边框无边框车牌图片各 50 张。测试图片取自不同环境下拍摄的不同车牌的照片。测试图片保证无水平倾斜或经过正确的水平倾斜矫正。实验结果见表 3,其中算法 10 为投影点坐标方差最小化车牌垂直倾斜矫正算法<sup>[12]</sup>,算法 11 为基于先验知识的车牌垂直倾斜校正方法<sup>[13]</sup>,算法 12 为一种基于窄孔透视思想的垂直倾斜矫正方法<sup>[14]</sup>,算法 13 为融合 Radon 变换与旋转投影的车牌垂直校正方法<sup>[15]</sup>,算法 14 为文字图像的整体倾斜矫正算法<sup>[16]</sup>。

根据实验的输入数据和输出数据的对比可以得知:在正确率方面,当图片有边框时,除 Hough 变换算法和算法 14 以外,该算法和其他几种算法均能保证较高正确率,其中算法 9 正确率最高。当图片无边框时,除 Hough 变换算法、Radon 变换算法以及算法 5 以外,其他算法仍然能保证较高的正确率。总体而言,该

表 3 边框对垂直倾斜矫正算法的影响对比表

	平均时间/ms	正确率/%		
		有边框	无边框	总计
Hough 变换	1235	86	4	45
Radon 变换	1428	92	2	47
算法 5	1132	90	5	48
算法 9	2205	94	88	91
算法 10	2132	92	86	89
算法 11	1189	90	79	85
算法 12	1232	89	80	85
算法 13	1312	93	84	89
算法 14	812	88	75	82
该算法	992	91	82	87

算法不受车牌边框影响,能达到较高的正确率且鲁棒性高。

在算法平均运行时间方面,该算法与算法 14 平均运行时间最少,但算法 14 正确率最低;算法 9 正确率最高,但其平均运行时间长;除算法 9 和算法 10 平均运行时间较长以外,其他算法平均运行时间差距不大。

#### 4.3.2 图像污点对垂直倾斜矫正算法的影响

在二值化的图片中,根据污点的数量和分布可将其分类为无污点图片、有较少污点图片和有较多污点的图片。若图片中车牌字符清晰可见,且无任何污点,则为无污点图片。若车牌字符较为清晰,污点的总面积不超过字符面积的 20% 且分布在车牌周围,则图片为较少污点的图片。若车牌字符较为清晰,污点的总面积超过字符面积的 20% 且有一部分污点分布在车牌内部则认定为有较多污点图片。

本轮实验共使用测试图片 100 张。测试图片取自不同环境下拍摄的不同车牌的照片。测试人员通过相同的二值化算法处理这 100 张图片,将这些二值化后的图片分为无污点图片、有较少污点图片和有较多污点的图片。本次实验保证所用车牌图片均有清晰边框且不存在水平倾斜或已经过正确的水平倾斜矫正,实验结果见表 4。

根据实验的输入数据和输出数据的对比可以发现:在正确率方面,上述 10 种算法在无污点情况下均能保证很高的正确率,但在有少污点或有较多污点情况下,正确率均有所下降,但实际差距不大。而该算法在有污点情况下,正确率仅有略微下降,因此可以得知,该算法在进行垂直倾斜矫正时相较于其他算法具有相对更高的鲁棒性。

在算法平均运行时间方面,该算法保证了较高的正确率和鲁棒性,并且平均运行时间最短。

表 4 污点对垂直倾斜矫正算法的影响对比表

	平均时间/ms	正确率/%		
		无污点	少污点	多污点
Hough 变换	1 872	100	92	76
Radon 变换	2 523	100	98	86
算法 5	2 132	100	94	84
算法 9	2 577	100	96	86
算法 10	3 121	100	95	79
算法 11	1 632	100	96	88
算法 12	1 121	99	92	81
算法 13	1 532	100	95	65
算法 14	1 433	100	89	51
该算法	1 051	100	96	88

#### 4.4 实验总结

该算法因避免了对整张图的遍历处理,改为对扫描线的遍历,在不影响整体算法的正确率和鲁棒性的前提下,很大程度上降低了算法运行的复杂度,提高了算法的运行效率,缩短了算法的平均运行时间。另外,该算法相比于其他车牌矫正算法,虽然在某些特定的方面,例如正确率或是稳定性上不如一些算法,但总体而言该算法仍然具有高效、稳定、正确率高的特点,在实际工程运用中,可根据需要选择不同类型的算法。

在实际运用中,该算法能在各种照片拍摄情况下保证一定的正确率,能处理传统算法不能处理的无边框车牌,且算法效率高,程序运行耗时少,是一种快速的车牌倾斜矫正算法。但该算法仍然会因为外界的干扰而降低算法的正确率。例如对于污点较多的情况,该算法的正确率会有所下降。针对上述问题,算法在实际运用中可以使用其他算法辅助来提高车牌矫正的正确率缩短程序的运行时间,具体如下:

- 1) 根据实际字模的大小,将大图片进行一定比例的压缩以缩短算法的运行时间。
- 2) 对于污点较多的车牌,可利用某些预处理算法去除污点以提高正确率。利用连通量得到字符轮廓,再根据轮廓特点如连通量的长宽、面积来判断是否是污点,是污点则去除,反之则保留。
- 3) 优化二值化处理算法,准确选取二值化阈值,减少污点的干扰。

## 5 结 论

通过对传统的 Hough 变换、Radon 变换以及近几年新兴的多种车牌矫正算法进行分析对比,对其

局限性进行完善,从而提出一种高效、高正确率的算法。该算法建立在二值化处理后的图片基础上,基本思路是通过枚举倾斜角,利用字符与字符之间的形态特征确定车牌的水平倾斜角,并通过对二值化后的图片进行矫正分割进行分析,得到了若干有指导意义的结论。与现有典型的矫正分割识别算法相比,本文提出的算法对于国内民用车牌而言,具有广泛的适用性,并达到快速、高正确率的车牌矫正,为车牌快速矫正技术的研究提供了一种新的思路。如何将车牌的快速矫正算法和车牌特征识别算法进一步有效结合,是一个值得深入研究的课题。

## 参考文献:

- [1]张思远,樊志远,吴仁彪. 车牌识别预处理中的二值化及倾斜矫正算法[J]. 中国民航大学学报, 2006, 24(1): 39-41.
- [2]葛海江,方江江,张翔. 车牌识别系统中车牌定位及倾斜矫正算法研究[J]. 杭州电子科技大学学报, 2007, 27(2): 49-52.
- [3]黄健敏. 浅谈我国目前车牌识别系统的应用研究[J]. 山东工业技术, 2016(1): 214.
- [4]吴一全,丁坚. 投影点坐标方差最小化车牌垂直倾斜校正[J]. 应用科学学报, 2009, 27(2): 177-181.
- [5]李硕明,付仲良,彭彬慧. 基于字符行特征的车牌倾斜矫正算法[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2006, 34(1): 35-37.
- [6]于明,李延果,于洋,等. 融合 Hough 与 Radon 变换的车牌倾斜校正算法[J]. 控制工程, 2013, 20(6): 39-42.
- [7]李文举,梁德群,崔连延,等. 一种新的车牌倾斜校正方法[J]. 信息与控制, 2004, 33(2): 231-235.
- [8]芮挺,沈春林,张金林. 车牌识别中倾斜牌照的快速矫正算法[J]. 计算机工程, 2004(13): 122-124.
- [9]宋万里,张鸽. 车牌识别中的倾斜车牌校正算法[J]. 科技信息, 2011(14): 43-44.
- [10]靳海涛,刘争芳. 一种车牌图像几何矫正的简易快速算法[J]. 中国交通信息化, 2013(S1): 128-130.
- [11]王晨,尚媛园,丁辉,等. 基于 SSIM 的车牌识别算法研究[J]. 光学技术, 2013(6): 505-509.
- [12]罗志灶,周赢武,郑忠楷. 二值图像连通域标记优化算法[J]. 安庆师范学院学报, 2010, 16(4): 34-39.
- [13]李冬生,陈域. 基于先验知识的车牌垂直倾斜校正方法[J]. 软件导刊, 2014(3): 23-25.
- [14]蒋治华,陈继荣,王卫. 一种非传统车牌倾斜矫正方法[J]. 计算机应用研究, 2006, 23(03): 175-177.
- [15]朱亚萍,田呈培,杨成忠,等. 融合 Radon 变换与旋转投影的车牌垂直校正方法[J]. 杭州电子科技大学学报(自然科学版), 2015(3): 48-51.
- [16]黄红燕,叶绿. 文字图像的整体倾斜矫正[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(6): 58-61.
- [17]王楠楠. 车牌定位及倾斜矫正方法研究[J]. 工业控制计算机, 2014, 27(11): 25-26.
- [18]张国英,程益钰,朱红. 基于改进 Hough 变换的线性目标检测[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(2): 536-540.
- [19]XU X, WANG Q, UNIVERSITY Y N. Tilt correction in license plate recognition system[J]. Science Mosaic, 2015 (6): 78-94.
- [20]ZHANG H, GAO J, KANG J. Fast correction algorithm for faces tilt based on principal eigenface analysis[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016(4): 583-589.
- [21]曾凡锋,吴飞飞,肖珂,等. 一种快速文本图像倾斜校正方法[J]. 计算机应用与软件, 2015(4): 181-185.
- [22]李金铎. 基于线性回归法的车牌倾斜矫正算法[J]. 中国科技博览, 2016(2): 302-303.
- [23]HONSINGE R. Method for image skew detection: US8160393[P]. 2012-04-17.
- [24]DED K, VAVILIN A, KIM J W, et al. Vehicle license plate tilt correction based on the straight line fitting method and minimizing variance of coordinates of projection points[J]. International Journal of Control Automation & Systems, 2010, 8(5): 975-984.
- [25]HU H. An algorithm for vehicle license plate tilt correction based on line fitting method[C]// Information Engineering, International Conference on. [S.l.]: IEEE, 2010: 162-166.

(责任编辑:李艳)