

一种新的基于 Radon 变换的车牌倾斜校正方法

贾晓丹,李文举,王海姣

JIA Xiao-dan, LI Wen-ju, WANG Hai-jiao

辽宁师范大学 计算机与信息技术学院, 辽宁 大连 116029

Computer and Information Technology College, Liaoning Normal University, Dalian, Liaoning 116029, China

E-mail: xiaodanjia@163.com

JIA Xiao-dan, LI Wen-ju, WANG Hai-jiao. Novel approach for vehicle license plate tilt correction based on Radon transform. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(3): 245-248.

Abstract: Tilt vehicle license plate have a bad effect on its character segmentation and recognition. In this paper, a novel approach for number plate tilt correction based on Radon transform is presented. Radon transform in the range of $[-20^\circ, 20^\circ]$ is implemented on the number plate images. Then the accumulative total of absolute value of difference of the results is calculated, respectively. The angle of the Radon transform corresponding to the maximal accumulative total is confirmed as a skew angle of the number plate. Bilinear interpolation rotation correction is performed to the plate that is tilt to the horizontal line, and bilinear interpolation offset correction is made to the plate that is tilt to the vertical line. Experimental results show that the method can be implemented easily and offers robustness when dealing with dirty license plates and license plates in variant lighting conditions.

Key words: vehicle license plate; tilt correction; Radon transform

摘 要: 车牌的倾斜给车牌字符分割与识别带来不利的影响。基于 Radon 变换, 提出了一种新的车牌倾斜校正方法。对车牌图像在 $[-20^\circ, 20^\circ]$ 范围内进行 Radon 变换, 并对变换后的结果求一阶导数绝对值的累加和, 将累加和的最大值所对应的 Radon 变换的角度作为倾斜角度。对水平倾斜的车牌进行双线性插值旋转校正, 对垂直倾斜的车牌进行双线性插值错位偏移校正。实验结果证明, 该方法简单实用, 对光照、污迹等不敏感, 抗干扰能力强。

关键词: 车牌; 倾斜校正; Radon 变换

文章编号: 1002-8331(2008)03-0245-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

1 引言

车牌识别(LPR)是智能交通系统(ITS)的重要组成部分,可广泛应用于交通监控和管理、车辆安全防盗等领域,有着广泛的应用前景。LPR 技术是将摄像机等设备拍摄的车辆图像,经视频图像采集卡转换成数字图像(或直接使用数字摄像机获取数字图像)并传送给计算机,由计算机通过车牌识别软件定位提取车牌,分割车牌上的字符,最后识别出分割的字符,是一种不需人的干预、由计算机自动获得通行车辆车牌号码的技术。最理想情况下拍摄的车牌图像是一个矩形,但由于摄像机和车牌之间角度的变化,常常使所拍摄的车牌图像产生倾斜现象,给字符分割带来不利影响,造成误分割和车牌识别率的下降。因此,需要在字符分割之前进行车牌的倾斜校正。

目前的车牌倾斜校正方法主要有:(1)Hough 变换法^[1-3]。通过 Hough 变换求取车牌的边框,进而确定车牌的倾斜角;或者由 Hough 变换提取牌照边框的参数后,再求解牌照区域四个

顶点的坐标,然后通过双线性空间变换对畸变图像进行校正;(2)通过模板匹配寻找牌照区域的四个顶点,再通过双线性空间变换重建矩形车牌区域^[4];(3)通过求取车牌字符区域的局部极小和局部极大特征点,再进行投影确定车牌的倾斜角^[5];(4)通过求取车牌上各字符连通域的中心点,然后拟合为直线来确定车牌的倾斜角^[6];(5)基于主元分析的倾斜车牌图像校正方法^[7];(6)彩色边缘检测结合旋转投影法。由于图像中车牌的边框有时并不明显(如有的白牌白车),且因噪声、污迹等干扰的影响,造成 Hough 变换后参数空间中的峰值点很分散,这使得方法(1)和方法(2)效果并不理想;当车牌上有污迹和噪声时,方法(3)的检测精度下降;由于二值化等原因,车牌上字符会有粘连和断裂现象,这使得方法(4)的效果也不理想。而且,上述四种方法有一个共同的缺陷,就是当图像对比度较小、光照不均时,检测到的倾斜角误差较大;方法(5)对水平垂直倾斜的车牌图像校正具有良好的效果,但对畸变车牌图像的矫正效果不明

基金项目: 辽宁省博士科研启动基金(the Doctoral Scientific Research Foundation of Liaoning Province of China under Grant No.20061052); 辽宁省教育厅高等学校科研项目资助 (the Scientific Research Program of Higher Education of Liaoning Educational Committee of China under Grant No.20060484)。

作者简介: 贾晓丹(1982-),女,硕士研究生,主要研究方向:图像处理与模式识别;李文举(1964-),男,教授,博士,硕士研究生导师,主要研究方向:图像处理与模式识别、智能控制、智能交通系统;王海姣(1980-),女,硕士研究生,主要研究方向:图像处理与模式识别。

显;方法(6)是通过旋转车牌图像在坐标轴上的投影求取倾斜角度进行校正,它具有较强的抗干扰能力。但该方法中最佳倾斜角度的求取是一个寻优过程,要进行多次投影才能逐步逼近最佳倾斜角度,因此计算量很大。本文提出了一种新的车牌倾斜校正方法,该方法利用 Radon 变换求取车牌的水平和垂直倾斜角度,无需二值化图像,也不必旋转图像。大量实验表明,该方法简单实用,对光照不敏感,抗干扰能力强,并且对于畸变的车牌也有良好地校正效果。

2 Radon 变换及倾斜角检测原理

设 $f(x,y)$ 为一个二维函数,则 Radon 变换定义如下:

$$R_{\theta}(x') = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x' \cos \theta - y' \sin \theta, x' \sin \theta + y' \cos \theta) dy' \quad (1)$$

其中: $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ 。

$f(x,y)$ 的 Radon 变换的几何关系如图 1 表示,它是 $f(x,y)$ 平行于 y' 轴的线积分。当 $f(x,y)$ 表示一图像矩阵时,Radon 变换的实质是求任意方向 θ 上图像矩阵的投影。

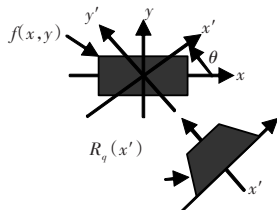
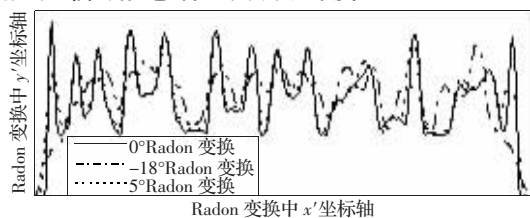
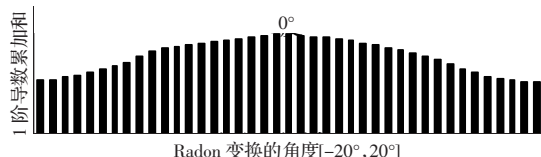


图 1 Radon 变换的几何关系

对一未倾斜的车牌进行 0° 、 5° 和 -18° 的 Radon 变换,结果如图 2(a)所示。由图可见, 0° 时的数据落差最大, 5° 时次之, -18° 时最小。这说明,当对车牌进行若干个角度的 Radon 变换时,数据落差最大时的角度是车牌的倾斜角度。数据落差的大小可通过数据的 1 阶导数绝对值的累加和来度量。



(a) 未倾斜车牌的 0° 、 5° 和 -18° 的 Radon 变换



(b) Radon 变换结果的 1 阶导数累加和

图 2 倾斜角检测原理

一般情况下,车牌的倾斜角度不会超过 20° 。所以,应用 Radon 变换求车牌倾斜角的工作原理如下:

- (1) 对车牌进行 $-20^\circ \sim 20^\circ$ 的 Radon 变换;
- (2) 对上述 Radon 变换结果分别求 1 阶导数绝对值的累加和;
- (3) 具有最大累加和的角度为倾斜角度。

对上述车牌进行 $-20^\circ \sim 20^\circ$ 的 Radon 变换,然后再分别求 1 阶导数绝对值的累加和,结果如图 2(b)所示。由图可见, 0° 时

的累加和最大,说明 0° 时的数据落差最大,车牌的倾斜角度为 0° ,即车牌不倾斜。

3 车牌倾斜校正算法

车牌具有三种倾斜模式,即水平倾斜、垂直倾斜和水平垂直倾斜。因此,在进行倾斜校正时,也应分别进行水平倾斜校正和垂直倾斜校正。车牌倾斜校正算法的流程图如图 3 所示。

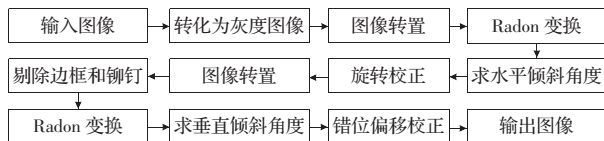


图 3 车牌倾斜校正的流程图

3.1 水平倾斜校正

将原始的彩色车牌图像转化为灰度图像,如图 4 所示;然后对图像进行转置,再对转置后的图像进行 $-20^\circ \sim 20^\circ$ 的 Radon 变换;最后对 Radon 变换后的结果求 1 阶导数绝对值的累加和,结果如图 5 所示。由图 5 可知,车牌的水平倾斜角度为 -11° 。将车牌逆时针双线性插值旋转 11° ,然后进行转置,可得水平倾斜校正后的车牌图像,如图 6 所示。



图 4 原始图像

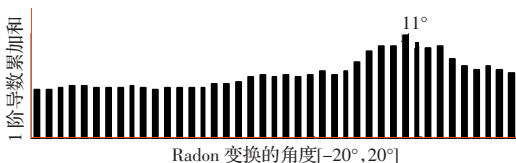


图 5 Radon 变换的 1 阶导数累加和



图 6 水平倾斜校正后的车牌 图 7 剔除水平边框和铆钉后的车牌

3.2 剔除水平边框和铆钉

车牌上通常有 2 个或 4 个固定铆钉,它们常常和水平边框、第 2、第 4 个字符相粘连,影响字符的分割效果。

对水平倾斜校正后的图像进行垂直边缘检测,可去掉水平边框;然后进行水平投影。由于字符区域的水平投影值较大,可设定一阈值 T ,则投影值 $N > T$ 的区域为字符区域。剔除水平边框和铆钉后的车牌图像如图 7 所示。

3.3 求取车牌的垂直倾斜角

对剔除水平边框和铆钉后的车牌进行 $-20^\circ \sim 20^\circ$ 的 Radon 变换。然后对 Radon 变换后的结果求 1 阶导数绝对值的累加和,累加和最大时所对应的 Radon 变换的角度为垂直倾斜角度。图 8 为 1 阶导数绝对值累加和的直方图,从图可见车牌的垂直倾斜角度为 16° 。

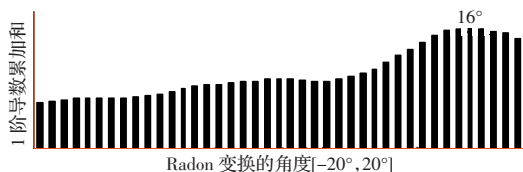


图 8 1 阶导数累加和的直方图

3.4 垂直倾斜校正

车牌的垂直倾斜是同一行间像素的错位偏移,因此,要在

同一行内对像素进行移位。设车牌的高度为 h , 垂直倾斜角度为 β , 车牌区域内任一像素的坐标为 (i, j) , 校正后像素的坐标为 (i, j_{new}) , 则:

$$j_{new} = j + (i-1) \tan \beta, \beta < 0 \quad (2)$$

$$j_{new} = j + (h-i) \tan(-\beta), \beta < 0 \quad (3)$$

确定了校正后像素坐标 (i, j_{new}) , 再进行双线性插值运算则可求取像素的灰度值。校正后的图像如图 9 所示。



图 9 校正后的车牌

4 实验结果

用本文提出的方法对两类图像进行了测试, 一类是所拍摄的图像中的车牌本身就是倾斜的, 称为实际倾斜的车牌图像, 目的是从主观上来判断本文提出的方法; 另一类是人工倾斜的车牌图像, 将不发生倾斜的车牌, 人为的倾斜任意角度, 并记录下倾斜的角度, 再用本文提出的算法进行倾斜校正, 比较得出的倾斜角度与记录下的手动的倾斜角度的误差, 目的是通过大量的实验来评价该方法的性能。

4.1 实际倾斜的车牌图像的实验结果

应用本文提出的方法对大量的实际倾斜的车牌进行了倾斜校正, 部分实验结果如图所示。图 10 是受光照影响的车牌倾斜校正的结果。图 11 是有污迹的车牌的倾斜校正结果。图 12 是边框不明显的车牌的倾斜校正结果。图 13 是畸变车牌的倾斜校正结果。



图 10-1(a) 原始车牌



图 10-1(b) 校正后的车牌图



图 10-2(a) 原始车牌



图 10-2(b) 校正后的车牌



图 10-3(a) 原始车牌



图 10-3(b) 校正后的车牌



图 10-4(a) 原始车牌



图 10-4(b) 校正后的车牌

图 10 受光照影响的车牌的倾斜校正结果



图 11-1(a) 原始车牌



图 11-1(b) 校正后的车牌图



图 11-2(a) 原始车牌



图 11-2(b) 校正后的车牌

图 11 有污迹的车牌的倾斜校正结果



图 12-1(a) 原始车牌



图 12-1(b) 校正后的车牌图



图 12-2(a) 原始车牌



图 12-2(b) 校正后的车牌



图 12-3(a) 原始车牌



图 12-3(b) 校正后的车牌



图 12-4(a) 原始车牌



图 12-4(b) 校正后的车牌

图 12 边框不明显的车牌的倾斜校正结果

4.2 人工倾斜的车牌图像的实验结果

本文人工的对一些原本不倾斜的车牌图像进行了倾斜处



图 13-1(a) 原始车牌



图 13-1(b) 校正后的车牌图



图 13-2(a) 原始车牌



图 13-2(b) 校正后的车牌



图 13-3(a) 原始车牌



图 13-3(b) 校正后的车牌



图 13-4(a) 原始车牌



图 13-4(b) 校正后的车牌

图 13 畸变车牌的倾斜校正结果

理, 然后再用本文提出的方法对其进行倾斜校正。由于本文所采用的原始图片也是真实的人工采集得来的车牌图像, 本身就存在一定的倾斜角度, 所以校正后的角度跟手动的倾斜角度有一定的误差。表 1 为实验结果, 从表 1 中可以看出, 本文提出的方法的误差很小。当 Radon 变换的步长选取为 1 时, 本文提出的方法的最大误差为 1° ; 当 Radon 变换的步长为 0.1 时, 本文方法的最大误差为 0.6° 。

表 1 实际倾斜角度与求得的倾斜角度比较表

测试图片	手动倾斜角度	本文方法求出的倾斜角度	角度误差
京B D2616	11°	11°	0°
京B 38360	-9°	-9°	0°
京B 36917	6°	6°	0°
京B C1589	-19°	19°	0°
京B 32081	14°	14°	0°
京B 02503	-10°	10°	0°
	11°	11°	0°
	-2°	2°	0°
	1°	2°	1°
	-1°	0°	1°
	9°	9°	0°
	-12°	-12°	0°

(a) 步长为 1 的实验结果

测试图片	手动倾斜角度	本文方法求出的倾斜角度	角度误差
京B 01391	5.5°	5.5°	0°
京B 34564	-4.5°	-4.5°	0°
京B 34896	12.5°	12.5°	0.4°
京G 18343	-18.5°	-18.3°	0.2°
京B 0114	9°	9.5°	0.5°
京C 60026	-3.5°	2.9°	0.6°
京B 01903	4.5°	4.5°	0°
京B 015820	-11°	11°	0°
京B 0114	18.5°	18.6°	0.1°
京C 60026	-2.5°	-2.5°	1°
京C 42529	14°	14.1°	0.1°
京C 42529	-4.5°	-4.9°	0.4°
京C 42529	7.5°	7.3°	0.2°
京C 42529	11°	10.5°	0.5°

(b) 步长为 0.1 的实验结果

5 结论

本文提出了一种新的车牌倾斜校正方法。该方法通过在 $[-20^\circ, 20^\circ]$ 范围内求取车牌 Radon 变换结果的一阶导数累加和的最大值所对应的 Radon 变换角度来确定车牌的水平和垂直倾斜角度。大量实验结果表明, 该方法简单实用, 对光照、污迹

等不敏感,抗干扰能力强,并且对畸变的车牌图像有较好的校正效果,为后续的字符分割奠定了良好的基础。

(收稿日期:2007年8月)

参考文献:

- [1] Wen C Y, Yu C C, Hun Z D. A 3-D transformation to improve the legibility of license plate numbers[J]. Journal of Forensic Sciences, 2002, 47(3): 578-585.
- [2] 富煜清,沈巍,黄心晔. 汽车牌照的提取方法研究[J]. 模式识别与人工智能, 2002, 43(3): 345-348.
- [3] 郝永杰,刘文耀,路烁. 畸变汽车牌照图像的空间校正[J]. 西南交通大学学报, 2002, 37(4): 417-420.
- [4] Hegt H A, Haye R J, Khan N A. A high performance license plate

(上接 227 页)

制形式简单,使系统从任意初始状态开始就处于滑动平面上,对参数摄动和外界扰动具有很强的鲁棒性,并且消除了系统的抖振现象,系统获得了满意的控制性能。仿真结果表明了这一方法的有效性。(收稿日期:2007年8月)

参考文献:

- [1] Xiao Ling-fei, Su Hong-ye, Zhang Xiao-yu, et al. A new discrete variable structure control algorithm based on sliding mode prediction[C]//Proceedings of the 2005 American Control Conference, 2005, 7: 4643-4648.
- [2] Song Li-zhong, Yao Qiong-hui, Yan Sheng-mao. Discrete variable structure control design and its application to a ship autopilot servo system[C]//Proceedings of the Eighth International Conference

(上接 241 页)

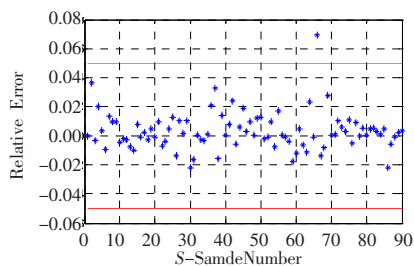


图5 出口空气温度预测值和测量值之间的误差

水出水温度的预测中,平均相对误差为 2.45%,最大相对误差在第 66 个采样点处为 11.42%。在换热器出口空气温度的预测中,最大平均相对误差和最大相对误差分别为 0.89% 和 6.94% (发生在第 66 个样本点处)。

5 结论

文中成功建立了空气处理单元中换热器的动态神经网络模型。几乎所有的动态预测值都位于实测数据的 95%~105% 范围之内。这些结果显示,神经网络模型可以在一定范围内作为替代热力学第一定理的合理选择。进一步的研究重点放在利用神经网络对制冷系统和空气调节系统的每个部件进行神经网络建模,并引入神经网络控制技术到系统中。

recognition system[C]//IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1998, 5: 4357-4362.

- [5] Comelli P, Granieri M N. Optical recognition of motor vehicle license plates[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1995, 44(4): 790-799.
- [6] 权伟,郑南宁,贾新春. 复杂背景下的车牌照字符提取方法研究[J]. 信息与控制, 2002, 31(1): 25-29.
- [7] 朱程辉,吴德会. 基于主元分析的倾斜车牌图像校正方法研究[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(1): 177-180.
- [8] 李文举,梁德群,崔连延. 一种新的车牌倾斜校正方法[J]. 信息与控制, 2004, 33(2): 231-235.
- [9] 朱林,张峰,王成. LPR 中两个问题的 MATLAB 解决方案[J]. 微计算机应用, 2006, 27(3): 352-355.

on Electrical Machines and Systems, 2005, ICEMS 2005, 2005, 2: 1621-1624.

- [3] 于双和,强文艺. 无抖振离散准滑模控制[J]. 控制与决策, 2001, 16(3).
- [4] 张益波,张井岗,陈志梅. 离散时间系统变结构控制研究综述[J]. 信息与控制, 2003, 32(7): 136-141.
- [5] 陈志梅,赵志诚,张井岗,等. 离散时间系统的时变滑模变结构控制[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(9).
- [6] 高为炳. 变结构控制理论基础[M]. 北京: 中国科技出版社, 1990.
- [7] 魏丽霞,崔宝同. 一种离散时间系统变结构控制的方法[C]//全国自动化新技术学会交流会会议论文集, 2005.
- [8] 翟长连,吴智铭. 不确定离散时间系统的变结构控制设计[J]. 自动化学报, 2000, 26(2).
- [9] 张科,常新杰,周凤歧. 多变量系统的全程滑态变结构模型跟踪系统[J]. 西北工业大学学报, 1999, 17(1).

致谢:

作者在此感谢香港城市大学提供支持(City University of Hong Kong for the financial support of the Strategic Research Grant #7001535)。(收稿日期:2007年7月)

参考文献:

- [1] Islamoglu Y. A new approach for the prediction of the heat transfer rate of the wire-on-tube type heat exchanger-use of an artificial neural network model [J]. Applied Thermal Engineering, 2003, 23: 243-249.
- [2] Pacheco-Vega Arturo, Sen Mihir, Yang K T, et al. Neural network analysis of fin-tube refrigerating heat exchanger with limited experimental data[J]. Int J Heat and Mass Transfer, 2001, 44: 763-770.
- [3] Bechtler H, Browne M W, Bansal P K, et al. Neural networks—a new approach to model vapour-compression heat pumps[J]. Int J Energy Res, 2001: 591-599.
- [4] Diaz Gerardo, Sen M, Yang K T, et al. Dynamic prediction and control of heat exchangers using neural networks [J]. Int J Heat and Mass Transfer, 2001, 44: 1671-1679.
- [5] Swider D J, Browne M W, Bansal P K, et al. Modeling of vapour-compression liquid chillers with neural networks[J]. Applied Thermal Engineering, 2001, 21: 311-329.
- [6] So A T P, Chow T T, Tse W L. A neural-network-based identifier/controller for modern Hvac control[J]. Ashrae Transactions, 1995, 101(2): 14-31.