

仿射变换在交通标志检测中的应用

左丹丹, 刘 鑫, 朱双东*

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 将仿射变换应用于道路交通标志识别系统, 用以解决场景图中交通标志的变形问题, 并通过对交通标志场景图中变形的交通标志进行形状矫正以提高交通标志检测和识别的准确率. 在分析交通标志变形情况的基础上, 给出了仿射变换在交通标志检测中应用的具体算法. 仿真实验表明: 采用仿射变换能够快速、有效地矫正交通标志的变形, 具有较好的可行性和实时性.

关键词: 交通标志识别; 形状识别; 仿射变换

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1001-5132 (2011) 02-0042-04

交通标志识别系统通过准确、快速地检测来识别道路交通标志, 以帮助驾驶者达到安全驾驶的目的. 驾驶者可通过交通标志特有的颜色和形状等可视特征来判断其视野内是否存在交通标志. 同样地, 交通标志识别系统(Traffic Sign Recognition System, TSR)也是利用这些关键信息来检测和识别交通标志. 文献[1]首次提出了用于交通标志检测的颜色-几何模型, 该模型主要由交通标志的3种基本颜色和5种基本形状构成, 体现了颜色和几何形状具有唯一确定性关系的特点. 笔者在此重点讨论的是交通标志的几何形状信息, 国内外研究人员也提出了很多利用交通标志几何形状信息进行检测的算法. 文献[2]通过对感兴趣区域(Region of Interest, ROI)做快速傅里叶变换(Fast Fourier Transform, FFT), 提取出交通标志的形状信息来达到检测目的; 文献[3]在利用形状信息进行检测时, 通过提取 ROI 的边缘特征来判断此区域是否为圆形或三角形; 文献[4]通过等间距扫描图像边缘轮廓的方法来判断图像中的物体是否为圆形、三角形和矩形. 以上提到检测方法的检测准确率均对场景图中交通标志形状的完好程度有很大依赖性. 然而, 实际拍摄到的道路场景图中的交通标志会存在不同程度的旋转、偏转, 进而在检测提取到的交通标志形状信息时并不理想, 这会直接影响到最终检测的准确率^[5-10].

针对交通标志的旋转和遮挡, 文献[2]提出了将图形旋转特定角度和检测缺失部分两种解决方法, 但是在实验验证部分采用的是人工生成图, 而不是真实的场景图, 因此这种方法的鲁棒性仍有待验证. 仿射变换是一种重要的几何变换, 它是从运动变换到射影变换的桥梁, 因此, 笔者提出利用仿射变换将场景图中出现旋转、扭曲的交通标志矫正为交通标志规则的几何形状.

1 仿射变换

变换是一类重要的数学思想, 应用变换的方法去解决问题可使问题得到简化, 从而在解题中取得较好的效果. 仿射变换是几何变换中一类重要的变换, 而笔者将讨论应用仿射变换解决交通标志的变形问题.

1.1 仿射变换的定义

定义平面 π 上的点变换 $T: \pi \rightarrow \pi$, 若直线变成直线, 且保持平行性和平行线段比不变, 则变换 T 称为仿射变换.

根据定义易得到仿射变换具有以下3个基本性质: (1)同素性: 即仿射变换将点变成点, 直线变成直线; (2)结合性: 即仿射变换保持点与直线的结合关系; (3)仿射变换将量变成向量, 且保持向量的线性关系为 $u = \lambda v$. 所谓向量的线性关系是指如果 A, B, C 是三点共线, 则有 $\overrightarrow{AC} = \lambda \overrightarrow{BC}$. 我们称系

收稿日期: 2010-09-13.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://3xb.nbu.edu.cn>

第一作者: 左丹丹(1986-), 男, 河南安阳人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 多媒体信息系统. E-mail: zuodan123456@126.com

*通讯作者: 朱双东(1950-), 男, 山东沂源人, 教授, 主要研究方向: 智能信息处理. E-mail: zhushuangdong@nbu.edu.cn

数 λ 为 A, B, C 三点的简单比, 记为 $\lambda = (ABC)$. 由该性质还可以推导出仿射变换具有保持三点共线的简单比不变的性质.

设给定的仿射坐标系为: $A(x_A, y_A), B(x_B, y_B), C(x_C, y_C)$, 则有 $\{x_C - x_A, y_C - y_A\} = \lambda(x_C - x_B, y_C - y_B)$. 从而有 $(ABC) = \lambda = (x_C - x_A) / (x_C - x_B) = (y_C - y_A) / (y_C - y_B)$, 显然, 如果利用有向线段的代数值得, 由平行线分线段成比例定理可得:

$$\frac{x_C - x_A}{x_C - x_B} = \frac{y_C - y_A}{y_C - y_B} = \frac{AC}{BC},$$

因此, 有时也可将简单比定义成 $(ABC) = AC / BC$. 由于仿射变换可由平行射影产生, 从直观上易知, 仿射变换一般不保持长度和角度不变.

以下则为仿射变换的代数表达式.

在平面内给定仿射坐标系 $O - e_1 e_2$, 如果有 1 个仿射变换 T 将点 $P(x, y)$ 变为 $P'(x', y')$, 将坐标系 $O - e_1 e_2$ 变为 $O' - e'_1 e'_2$, 而 e'_1, e'_2 在 $O - e_1 e_2$ 中的坐标分别为 $(a_{11}, a_{21}), (a_{12}, a_{22})$, 点 O' 在 $O - e_1 e_2$ 中的坐标为 (a_{13}, a_{23}) , 那么, 可以得到平面上仿射变换在仿射坐标系下的代数表达式为:

$$\begin{cases} x' = a_{11}x + a_{12}y + a_{13}, \\ y' = a_{21}x + a_{22}y + a_{23}, \end{cases} \quad (1)$$

由于 e'_1 不平行于 e_2 , 所以(1)式满足下述条件:

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \neq 0. \quad (2)$$

1.2 仿射变换在形状矫正中的应用

下面以圆形禁令标志为例, 利用仿射变换将 1 个变形的圆形矫正为正圆. 图 1 为变形的圆形交通标志示意图. 首先, 根据椭圆短轴与 x 轴之间的角度 θ 可以确定整个图形绕 A 点逆时针旋转 θ 角度的仿射矩阵, 可由下式进行计算:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ -x_1 & -y_1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_1 & y_1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

其中, (x, y) 是仿射变换前的坐标系 $O - xy$ 中任意点的坐标, (x', y') 是在经过仿射变换后的坐标系 $O' - x'y'$ 中与 (x, y) 对应点的坐标. 类似地, 三角形和矩形的此类旋转问题也可以通过(3)式的仿射

矩阵变换来解决.

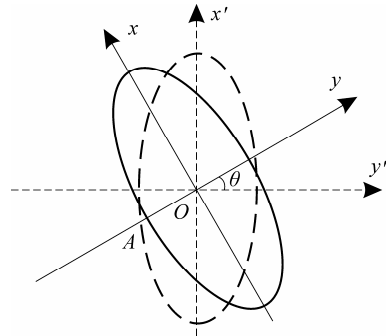


图 1 将变形的圆形标志旋转 θ 角度的示意图

接着进行第二步: 将椭圆仿射变换成为 1 个正圆. 设在笛氏直角坐标系下, 中心在原点, 焦点在 y 轴上的椭圆的标准方程为:

$$y^2 / a^2 + x^2 / b^2 = 1, a > b > 0, \quad (4)$$

其中, a, b 分别为椭圆的长半轴和短半轴.

定义仿射变换如下:

$$\begin{cases} x' = ax / b, \\ y' = y, \end{cases} \quad (5)$$

按照上述仿射变换, 椭圆变换后的对应图形为正圆, 其半径对应原椭圆长轴的长, 其方程为:

$$x'^2 + y'^2 = a^2. \quad (6)$$

如图 2 所示, 在(5)式的仿射变换下, $A \rightarrow A', B \rightarrow B', O \rightarrow O'$, 其中 $A \equiv A'$. 将椭圆上的点依次进行(5)式的仿射变换, 便可以得到 1 个圆形.

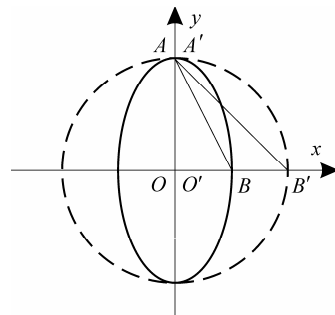


图 2 椭圆变为标准圆形的示意图

2 利用仿射变换矫正变形的交通标志

如上所述, 利用仿射矩阵可将一些存在变形的圆形、三角形和矩形矫正为标准的圆形、三角形和矩形. 交通标志检测中, 根据交通标志检测的颜色-几何模型, 利用交通标志的几何特征来完成交通标志的检测是整个 TSR 的重要环节之一. 由于在拍摄到的场景图中, 交通标志会出现一定的变形, 所以在形状检测之前可利用仿射变换来完成

交通标志形状的矫正,以提高形状检测的准确率.

2.1 交通标志的变形情况分析

交通标志的变形可以理解为交通标志在空间上围绕 3 个坐标轴 x, y, z 做不同程度旋转. 如图 3 所示, 其中图 3(a)为未做任何旋转的三角形, 而图 3(b)、(c)、(d)分别是三角形围绕 x, y, z 轴旋转后的图形. 图 4 所列出的是从实景图中提取的交通标志, 从中可看出这种对变形情况的分析是可行的.

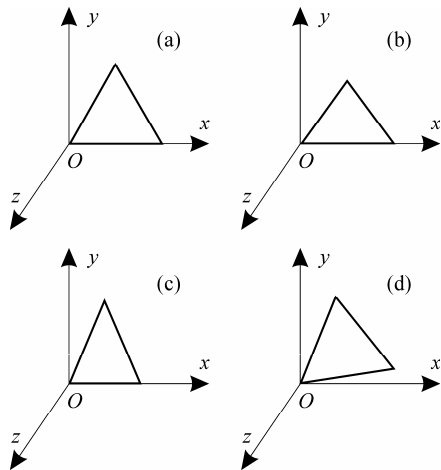


图 3 交通标志形状变化的分析



图 4 交通标志实景图

2.2 算法实现步骤

根据上述介绍的仿射变换的定义和实现步骤, 以圆形禁令标志为例, 其交通标志实施仿射变换算法的具体步骤如下: (1)利用颜色信息分割交通标志, 确定感兴趣区域; (2)对感兴趣区域进行二值化扫描, 并找到感兴趣区域最顶端、最下端、最左边和最右边 4 点的位置; (3)计算旋转的角度, 按照仿射变换(3)式确定仿射矩阵, 将感兴趣区域围绕最左边的点做旋转; (4)根据仿射变换(5)式确定仿射矩阵, 将椭圆变换成为 1 个标准圆形; (5)重绘此

区域.

3 仿真实验

实验在 VC 6.0 平台下编程实现, 整个检测模块还包含颜色分割部分, 由于此算法的重点是在形状检测环节, 因此对于颜色分割模块不做详细介绍. 实验的输入图片是从原场景图中截取的含有一定变形的交通标志图. 首先, 对输入图片进行颜色分割和去除噪声等预处理, 再按照 2.2 节所列的算法步骤, 利用仿射变换将变形的交通标志矫正为标准形状. 如图 5 所示, 图 5(a)是实验所用的输入图片, 图 5(b)所列的输出图片是输入图片经过仿射变换后所对应的二值图像. 经过仿射变换之后, 交通标志的几何特征更加明显.



图 5 实验结果展示

以圆形禁令标志为例进行实验. 首先, 对输入图片进行黑色和红色提取确定感兴趣区域. 然后对颜色提取后的图像进行去噪和滤波等形态学预处理. 接着按照仿射变换的步骤将图中旋转、扭曲的警告标志矫正为标准的圆形禁令标志, 完成形状矫正. 最后重绘感兴趣区域, 以二值图的形式显示矫正后的交通标志. 显然, 另外 2 种形状的交通标志也可通过以上步骤来完成形状矫正, 只是根据颜色和形状的不同, 在图像预处理时, 选取不同的颜色, 仿射变换(3)式也会有相应的变化.

实验选取存在变形的 3 种不同类型交通标志的场景图, 图片大小为 100×100 像素. 仿真实验结果表明: 仿射变换可以有效地矫正存在形状变化的交通标志, 而且变换后的效果较好(图 5). 表 1 分别给出了传统检测算法和加入仿射变换后的交通标志检测算法的实验结果. 通过表 1 可看出, 加入仿射变换后, 变形交通标志的检测成功率可以明显提高, 而加入仿射变换并没有引起检测时间的延长. 通过对比加入仿射变换前后 2 次实验的成功率和检测时间, 可以证明仿射变换在交通标志检测中的应用价值.

表1 仿射变换在交通标志检测中的应用实验结果

| | 基于仿射变换的交通标志检测 | | | 传统交通标志检测 | | |
|---------|---------------|------|------|----------|------|------|
| | 禁令标志 | 指示标志 | 警告标志 | 禁令标志 | 指示标志 | 警告标志 |
| 图像/张 | 17 | 16 | 18 | 17 | 16 | 18 |
| 检测成功/张 | 13 | 11 | 14 | 8 | 6 | 6 |
| 成功率/% | 76.4 | 68.7 | 77.8 | 47.1 | 37.5 | 33.3 |
| 检测时间/ms | 16.3 | 38.1 | 10.2 | 15.1 | 35.7 | 9.3 |

4 结语

针对交通标志检测中遇到的交通标志变形问题, 采用仿射变换对交通标志的形状进行矫正. 理论分析了仿射变换矫正形状的可行性, 且仿真实验结果部分采用实景图变形交通标志对提出的算法进行了测试. 结果表明: 采用仿射变换可以有效快速地矫正交通标志的形状, 使其更接近标准形状, 解决了交通标志的旋转、扭曲等变形问题, 从而进一步提高交通标志检测的准确率. 然而, 此算法在复杂的道路环境和多变的自然环境中能否保持较好的鲁棒性还有待进一步研究.

参考文献:

- [1] 朱双东, 刘兰兰. 一种用于道路交通标志识别的颜色-几何模型[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(5):956-960.
- [2] Jimenez P G, Bascon S M. Traffic sign shape classification and location based on the normalized FFT of the signature of blobs and 2D homographies[J]. Signal Processing, 2008, 88: 2943-2955.
- [3] Piccioli G, Micheli E D. Robust method for road sign

- detection and recognition[J]. Proceeding of Image and Vision Computing, 1996, 14(3):209-223.
- [4] 朱正平, 孙传庆, 王秀丽, 等. 基于外观特征与神经网络的交通标志识别[J]. 自动化与仪器仪表, 2009(1): 60-63.
- [5] Douville P. Real-time classification of traffic signs[J]. Real-time Imaging, 2000(6):185-193.
- [6] 徐迪红, 唐炉亮. 基于颜色和标志边缘特征的交通标志检测[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(4): 433-436.
- [7] Prieto M S, Allen A R. Using self-organizing maps in the detection and recognition of road signs[J]. Image and Vision Computing, 2009, 27:673-683.
- [8] Yang Hiuming, Liu Chaolin. Traffic sign recognition in disturbing environments[M]. Berlin: Springer Heidelberg, 2003.
- [9] Escalera A, Armingol J M, Salchs M A, et al. Road traffic sign detection and classification[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 1997, 44:848-859.
- [10] Zhu Shuangdong, Liu Lanlan. Traffic sign recognition based on color standardization[J]. IEEE International Conference on Information Acquisition, 2006, 4097797: 951-955.

Application of Affine Transformation in Shape Correction for Traffic Sign Recognition

ZUO Dan-dan, LIU Xin, ZHU Shuang-dong*

(Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: This paper presents a new method to regulate the traffic signs in the images taken from the real road environment. With this method, the traffic sign recognition system's success rate can be improved. In this research, the theory of the affine transformation is first introduced, the shape change of the traffic signs in the images is analyzed, and the way to regulate the traffic signs through the affine transformation is also presented. The experimental results show the flexibility and algorithm validity of the proposed method.

Key words: traffic sign recognition; shape detection; affine transformation

(责任编辑 章践立)