

# 导盲系统中的道路斑马线识别方法

曹玉珍, 刘刚, 杨海峰

CAO Yu-zhen, LIU Gang, YANG Hai-feng

天津大学 精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072

School of Precision Instrument and Opto-Electronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China

E-mail: yzcao@tju.edu.cn

CAO Yu-zhen, LIU Gang, YANG Hai-feng. Detection of pedestrian crossing in image-based blind aid devices. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(15): 176-178.

**Abstract:** A new method to effectively detect pedestrian crossing in the image-based blind aid devices is proposed. Candidate regions of a crossing are selected by careful evaluation of the "bipolarity" which represent the gray level contrast in an image, and the noise of bipolarity image is eliminated by using morphology processing approaches. According to the corresponding relationships between an image and its Radon transform result, pedestrian crossing features, such as number and length of pedestrian crossing stripes, angles in vision field, are extracted in transform domain. This algorithm is proved to be effective with 96.2% accuracy under the test of 54 real crossing images.

**Key words:** pedestrian crossing; bipolarity; morphology; Radon transform

**摘 要:** 针对斑马线的特征, 建立了基于图像的导盲辅助设备中道路斑马线的识别方法。引入表征灰度图像对比度的双极系数作为识别的理论基础, 结合形态学方法消除双极系数图像中的噪声, 筛选出具有强烈灰度对比度的道路斑马线区域, 进而采用Radon变换进行特征提取后重建斑马线。通过对54幅道路图像的测试, 该算法识别率达到96.2%。

**关键词:** 斑马线; 双极系数; 形态学; Radon变换

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.15.055 **文章编号:** 1002-8331(2008)15-0176-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

据世界卫生组织的统计, 全世界范围约有4千万盲人和1.1亿人正处于失明的危险中<sup>[1]</sup>。现有的导盲辅助工具大多是基于触觉和听觉来检测障碍, 例如导盲手杖和以超声回波原理设计的电子导盲设备。然而, 这些辅助工具在检测以视觉识别为基础的交通标志上依然存在着不足。基于图像的交通标志信息识别的研究意义不仅在于帮助视觉障碍者识别交通标志, 在智能车辆和机器人视觉<sup>[2]</sup>的研究中也有着重要的应用前景。

道路斑马线是重要的安全标志, 是以视觉识别为基础的导盲辅助设备中必须识别的交通标志信息。基于图像的斑马线识别已受到研究者的关注: Mohammad等<sup>[3]</sup>通过分析斑马线的间隔、方向和斑马带条数等指标, 结合这些指标的分析结果来判断图像中是否存在斑马线; Stephen<sup>[4]</sup>提出的消逝点方法来识别道路中的斑马线。此外, 运用神经网络等算法来识别交通标志的研究也在开展中<sup>[5]</sup>。

本文引入一个表征灰度图像对比度的双极系数突出斑马线区域, 并对双极系数图像进行消噪和形态学处理, 利用原图像和Radon变换域图像的关系, 通过变换域特征提取后重建斑马线, 以判断图像中是否存在斑马线。

## 1 斑马线识别的理论基础

### 1.1 图像的双极特性和双极系数

道路斑马线由一组黑白交替、等间隔的条形带构成。斑马

线区域最显著的特征就是具有很强烈的灰度对比度和良好的规律性。据此, 引入双极系数来表征和量化斑马线区域的灰度对比强烈程度, 并通过双极系数值筛选出道路图像中灰度对比强烈的区域进行分析和判断。

首先假定一幅灰度图像中只包含黑白两种像素。定义图像的密度分布函数为 $p_0(x)$ ,  $\mu_0, \sigma_0$ 分别为密度分布函数 $p_0(x)$ 的均值和标准差,  $\mu_1, \mu_2$ 和 $\sigma_1, \sigma_2$ 分别表示黑、白像素的密度分布函数 $p_1(x)$ 和 $p_2(x)$ 的均值和标准差。

图像的双极系数 $\gamma$ 定义为<sup>[3]</sup>:

$$\gamma = \frac{1}{\sigma_0} \{ \alpha(1-\alpha)(\mu_1 - \mu_2)^2 \} \quad (1)$$

其中,  $\sigma_0^2 = \alpha\sigma_1^2 + (1-\alpha)\sigma_2^2 + \alpha(1-\alpha)(\mu_1 - \mu_2)^2$ ,  $p_0(x) = \alpha p_1(x) + (1-\alpha)p_2(x)$ ,  $0 < \alpha < 1$ 。

由式(1)可知,  $0 < \gamma < 1$ 。当 $\gamma = 1$ 时,  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$ , 此时:  $p_1(x) = \delta(x - \mu_1)$ ,  $p_2(x) = \delta(x - \mu_2)$ , 因此当 $\gamma = 1$ 时对应的灰度图像具有完全双极性; 相反, 当 $\gamma = 0$ 时,  $\mu_1 = \mu_2$ , 灰度图像完全缺乏双极性。 $\gamma$ 可按式(2)估算:

$$\gamma = \frac{1}{\sigma_0} \{ \alpha(1-\alpha)(\mu_1 - \mu_2)^2 \} \geq \frac{\alpha(1-\alpha)n^2}{1 + \alpha(1-\alpha)n^2} = 1 - \frac{1}{1 + \alpha(1-\alpha)n^2} \quad (2)$$

其中,  $n$ 为像素点数。当 $n \geq 4$ ,  $\alpha = 0.5$ 时,  $\gamma$ 大于0.8。

在灰度图像块的直方图上, 可以获得低灰度级和高灰度级

的两个峰, 以及这两个峰对应的灰度级数和该灰度级对应的像素数。式(1)中的在实际计算中由式(3)得出。

$$\alpha = \frac{n_l}{n_l + n_h} \quad (3)$$

其中,  $n_l$  是低灰度级区域对应的总像素点数,  $n_h$  是高灰度级区域对应的总像素点数。

## 1.2 图像的不均匀分块

分块计算双极系数的思想在于: 由于斑马线区域由交替的黑白带构成, 该区域的灰度对比度较为强烈, 合理地分块能在该区域得到高双极系数值。而在其它区域, 由于灰度值基本一致, 得到的双极系数值较低, 从而可将图像中具有高双极系数值的区域从整幅图像中分离出来。由于分块的大小将直接影响目标区域的提取效果, 因此, 作以下考虑:

首先, 从分离的精细程度考虑, 图像的分块尺寸越小, 区域分离就越精确, 但是过多的分块会带来庞大的计算量。

其次, 由于希望在斑马线区域得到较高的双极系数值, 分块大小应大于斑马线的宽度。若分块尺寸较小, 又恰好落在单一灰度的斑马线中时, 计算得到的双极系数值为零, 这样就可能导致该斑马线漏识别。

由于等宽度等间隔的斑马线在以一定视角成像时出现“近大远小”<sup>[6]</sup>的现象, 分块的尺寸也相应地采用“近大远小”的方式: 在近区域, 斑马线显得较宽, 选择大尺寸的分块可以在斑马线区域得到较高的双极系数值; 而在远区域, 小尺寸的分块还可以保证图像分离的精细度。最终采用一种不均匀分块的方法解决斑马线区域分离的精细度和漏识别之间的矛盾。

采用数码相机拍摄的道路图像为 640×480 像素, 拍摄时相机位于正常站立时人眼高度, 角度模拟人观测斑马线的角度。采用三种分块尺寸, 由近至远依次为 32×32、16×16、8×8 像素的图像方块。图 1 为原始道路图像及其灰度直方图和采用这种不均匀分块方式对图像进行计算得到的双极系数图像。

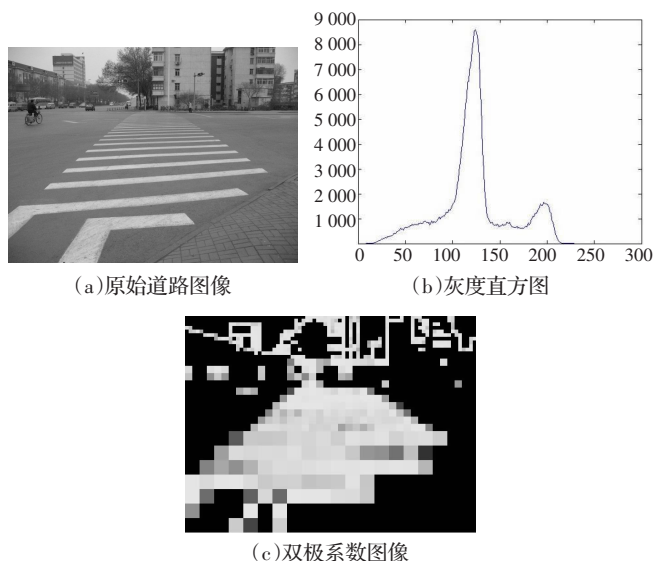


图1 原始道路图像、灰度直方图及其双极系数图像

## 2 形态学处理

双极系数图像的噪声是指位于非斑马线区域但又具有较高双极系数值的区域, 这些区域和斑马线区域一起构成了双极系数图像中的所有高双极系数点, 可归纳为以下两种:

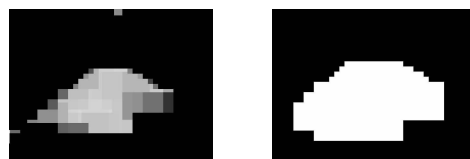
(1) 景物交界处的噪声

景物交界时, 由于相邻景物两侧的灰度级不同, 若图像分块中有图像块落在交界处, 就会反映出较高的双极系数值, 形成干扰。由于景物的交界处的两侧往往是单一的灰度, 因此这种噪声在双极系数图像中的形态多为沿着交界线方向的单个高双极系数值分块的排列。

(2) 伪斑马线区域

伪斑马线区域指那些同样拥有较强黑白对比度特性的景物。这些景物在进行分块计算双极系数时, 同样显示出很高的双极系数值, 与那些真正的斑马线区域混杂在一起形成干扰噪声。相比于斑马线区域良好的黑白交替规律性, 伪斑马线区域则无此规律。因此这些区域在双极系数图像中对应的高双极系数区的形态学特点往往包含有许多孔洞和断续。

根据噪声的形态学特征, 适当地选取结构元素, 对双极系数图像采用腐蚀操作可以将噪声区域的边缘缩小、孔洞扩张, 使其分离。针对交界噪声, 采用 18×18 像素的结构元素进行腐蚀, 可以很好的消除此类干扰并初步分离伪斑马线区域; 采用 24×24 像素的结构元素再次对图像进行腐蚀可以消除图像中的毛刺并瓦解伪斑马线噪声。图 2(a)所示为对图 1(c)所示的双极系数图像进行腐蚀的结果。对去噪后的双极系数图像以 4 连接的方式划分, 通过设定面积阈值, 选取目标区域, 并对选取的区域进行形态学优化, 包括膨胀、开运算、孔洞填充等, 以弥补去噪时带来的损失, 优化结果如图 2(b)所示。



(a) 去除噪声的双极系数图像 (b) 区域选取和优化结果

图2 形态学处理图

## 3 斑马线的特征提取与重建

### 3.1 边缘提取

边缘提取的目的是将斑马线区域中包含特征信息的平行线提取出来, 这些特征包括斑马线的条数、长度以及位于视场中的角度等。对原始图像中的目标区域进行阈值处理, 采用逐次迭代法确定分割阈值, 并用 Sobel 算子对分割后图像进行边缘提取。图 3 所示为原始图像中的目标区域和阈值分割、边缘提取的结果。



(a) 原始图像中目标区域 (b) 阈值分割结果 (c) 边缘提取结果

图3 特征提取结果

### 3.2 斑马线的特征提取与重建

经边缘提取后的斑马线轮廓可以看成一组平行线。Radon 变换具有检测直线和反映目标直线结构的能力, 可以将图像平面的平行线信息转换到 Radon 变换空间进行检测, 利用提取出的特征信息对斑马线进行重建。

二维空间的 Radon 变换定义为:

$$R(\rho, \theta) = \iint_D f(x, y) \delta(\rho - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy \quad (4)$$

式中: $D$ 为整个图像平面 $xy$ ;  $f(x,y)$ 为图像点 $(x,y)$ 的灰度; $\rho$ 为坐标原点到直线的垂直距离; $\theta$ 为直线的垂线与 $x$ 轴的夹角。

Radon 变换域中点的亮度对应原图像空间的线段的长度。采用局部极大值检测方法提取亮度较大的点的集合,并通过设定亮度阈值提取出特征点。图 4 是图 3(c)图像的 Radon 变换结果。在  $\theta$  角等于  $90^\circ$ 附近出现若干亮点,这些不同亮度的点对应着图 3(c)中不同长度的平行线。 $\theta$  角反映出这些线段在视场中的角度,亮点的纵坐标对应线段在图像平面中的位置。

图 5 是利用图 4 中亮度阈值为 100 时选出的 15 个点进行重建的结果。由于变换域中的点对应图像平面的直线,因此即使存在少量行人和车辆遮挡部分平行线,依然不影响斑马线信息的提取。需要说明的是:由 Radon 变换域中提取出的点所重建的直线是不包含端点信息的<sup>[7]</sup>。本文中重建直线的端点是根据阈值分割图像中的斑马线信息进行端点定位的。

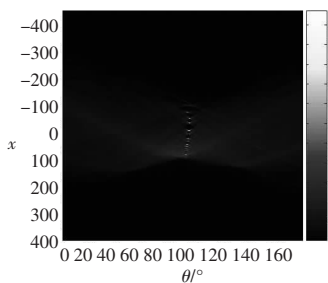


图 4 图 3(c)的 Radon 变换

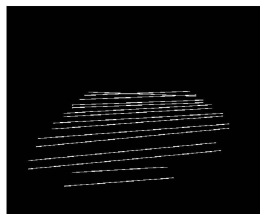


图 5 重建图像

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

图 6 所示为一组典型的道路图像和斑马线提取结果。可以看出,当斑马线区域大于图像总面积五分之一时,即使出现行人遮挡部分斑马线的情况,本算法依然能将位于视场不同角度的斑马线的线条信息提取出来。图 6(k)、(m)是没有被识别出来的斑马线图像,其中图 6(m)中的斑马线出现在图像的上方,出现的斑马线条数、区域面积都比较小;图 6(k)中的斑马线区域白色条纹很暗而且数量较少,斑马线区域并没有出现强烈的灰度对比。本算法通过识别斑马线的条数和角度信息来判断道路图像中斑马线区域存在与否。当所识别的斑马线条数在 4 条以上时,即至少可以判断出 8 条平行线时,识别结果较可靠。同时,对于不存在斑马线的图像,也可以成功识别。

采用拍摄于不同地点的 54 幅道路图像对本算法的有效性进行测试,统计结果如表 1 所示。实验表明:本算法对道路图像中占有面积大于图像总面积 1/5 的斑马线区域能够很好地识别。

表 1 识别结果统计

道路图像	成功识别数	识别率/%
含斑马线图像 40 幅	38	95
无斑马线图像 14 幅	14	100
图像总数 54 幅	52	96.2

### 4.2 讨论

上述算法获得了较高的识别率。在实际应用中,同样的成



图 6 道路原始图像及斑马线提取结果

(下转 198 页)