

文章编号 1004-924X(2009)05-1111-08

用改进的 Hough 变换检测交通标志图像的直线特征

陈洪波^{1,3}, 王 强², 徐晓蓉¹, 陈真诚³, 汤井田³

- (1. 湖南文理学院 计算机科学与技术学院, 湖南 常德 415000;
2. 广西师范大学 计算机科学与信息工程学院, 广西 桂林 541004;
3. 中南大学 信息物理工程学院生物医学工程研究所, 湖南 长沙 410083)

摘要: 直线特征是交通标志图像中稳定而重要的特征, 直线特征的正确提取, 对于提高交通标志识别率是有意义的。针对已有 Hough 变换的缺点, 如参数空间中的峰值扩散问题、繁重的计算复杂度和空间复杂度等, 提出了一种自适应“多对多”Hough 映射方式。新算法具有良好的时间计算复杂度、对阈值不敏感且能精确地提取出图像中的直线。实验结果表明, 新方法的阈值选择范围是 MTO_{θ} 的 3 倍, 而运算时间仅为 MTO_{ρ} 方法的 10% 左右。改进的 Hough 变换能在可接受的时间内准确地提取交通标志图像中的直线, 还可用于其它图像(如票据图像、符号图像)中直线特征的提取。

关键词: 交通标志图像; Hough 变换; 直线检测; “多对多”映射方式

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A

Line detection in traffic sign image based on improved Hough transform

CHEN Hong-bo^{1,3}, WANG Qiang², XU Xiao-rong¹, CHEN Zhen-cheng³, TANG Jing-tian³

- (1. *Department of Computer Science and Technology, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China;*
2. *College of Computer Science & Information Engineering, Guangxi Normal University, Guilin 541004 China;*
3. *Institute of Biomedicine Engineering, School of Info-physics and Biomedical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)*

Abstract: The extraction of the line features is very critical for traffic sign recognition. Aiming at the drawbacks of existing Hough transform, such as peak diffusion in a parameter space, heavy computational complexity and massive storage requirements, an adaptive many-to-many mapping scheme insensitive to the threshold is proposed to exactly extract the lines from a image with low computational complexity. Experimental results reveal that the range of selectable threshold of the new method is three times that of MTO_{θ} , while the running time is 10% that of MTO_{ρ} . These results reported here show that proposed method is more efficient for extracting the lines in traffic sign images with ac-

收稿日期: 2008-07-09; 修订日期: 2008-09-24.

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2006AA06Z105); 湖南省自然科学基金资助项目(No. 07JJ6133)

ceptable running time, and it can also be used for line detection in symbol images and bill images.

Key words: traffic sign image; Hough transform; line detection; “Many-To-Many” mapping scheme

1 引言

交通标志图像识别是智能交通系统中的重要研究课题,也是至今尚未解决的难题之一^[1]。交通标志图像识别系统是通过分析车辆行进中拍摄的二维图像来获得交通标志所传递的信息,在图像信息的采集过程中,外界光强变化、交通标志本身是否清晰、拍摄图像的距离和角度变化等环境因素,给实时准确地识别交通标志图像带来了一定的困难。因此,从交通标志图像中提取稳定的特征是对交通标志正确识别的一个重要前提。一般地,交通标志是由一些规则的图形表示的,这些图形大多数都由直线、弧等组成的,而直线特征具有平移、旋转、尺度不变性,是交通标志图像中的稳定而重要的特征。对直线特征的正确提取,对于提高交通标志识别率是有意义的。Hough 变换是直线特征提取的经典方法,本文将利用 Hough 变换来提取交通标志图像中的直线,并针对已有 Hough 变换的缺点,对 Hough 变换的映射方式进行改进,以能准确实时地提取出图像中的直线特征。

2 Hough 变换

Hough 变换(Hough Transform, HT)^[2,3]是模式识别领域中对二值图像进行直线检测的有效方法。在标准参数化方式下,图像空间中的直线表达为:

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

其中, (x, y) 为图像空间中的一个特征点, ρ 为原点到直线的距离(即原点到直线的垂直线的长度), θ 为直线的方向(即直线与 x 轴的夹角)。根据式(1),一条直线上的不同特征点 (x, y) 在参数空间中被变换为一簇相交于一点的正弦曲线。显然,通过确定参数空间中的局部最大值可以实现直线检测。

已有的 Hough 变换的改进算法,根据它们的

映射方式可以分为两大类,即“一对多”映射(One-To-Many, OTM)和“多对一”映射(Many-To-One, MTO)。所谓 OTM 映射方式,是指图像空间中的一个特征点对应参数空间中的多个点(或是一条曲线),如标准 Hough 变换(SHT)^[3]。由于这类方法具有良好的几何特性、很强的鲁棒性及并行性,因此,被广泛应用于图像处理和计算机视觉领域^[4-9]。但这类方法的参数空间往往是一个二维空间(θ 和 ρ),计算复杂度和空间复杂度都相当大。同时,因为图像的数字化和参数的量化经常会发生峰值扩散现象,不利于直线参数的正确检测。所谓 MTO 映射方式,是指图像空间中的多个特征点对应参数空间中一个点。以直线检测为例,因为在图像空间中,两个特征点可以确定一条直线,所以在参数空间累加(映射)时,图像空间中的两个特征点就对应参数空间中的一个点。依据参数空间中所使用的参数,MTO 映射方式也可分为 3 类:MTO $_{\rho\theta}$ 方法(在参数空间中采用 ρ 和 θ)、MTO $_{\rho}$ (在参数空间中只采用 ρ)和 MTO $_{\theta}$ (在参数空间中只采用 θ)。与 OTM 方法相比,基于 MTO $_{\rho\theta}$ 的方法,如 Randomized Hough Transform (RHT)^[10-14],虽提高了算法的时间效率,但却无法降低算法的空间复杂度;基于 MTO $_{\theta}$ 的方法不仅提高了算法的时间效率,而且降低了算法的空间复杂度;但基于 MTO $_{\rho\theta}$ 和 MTO $_{\theta}$ 方法均会产生峰值扩散现象,不利于直线的正确检测;基于 MTO $_{\rho}$ 方法虽能使峰值扩散现象大大减少,但计算量却也随之增加,由此可见,在 MTO 和 OTM 的映射方式下,很难找到复杂度小而不发生峰值扩散现象的方法。

为此,本文提出一种新的映射方式,即“多对多”映射方式(Many-To-Many, MTM)。这种映射方式可以大大减少峰值的扩散现象,虽然它的计算复杂度稍差于 MTO $_{\theta}$ 方法,但却优于 OTM 和 MTO $_{\rho}$ 方法;它需要的辅助空间大小与 MTO $_{\theta}$ 方法的相同。实验结果表明,MTM 方法能在合理的时间内正确高效地检测出图像中的直线。

3 改进的 Hough 变换及映射方式

3.1 改进的映射方式

如图 1 所示,图中的点表示像素的中心位置。根据图像的数字化原理,若 S 和 A 为某直线上的特征点,则该直线一定经过由 D_1, D_2, D_3 和 D_4 组成的矩形区域,其中, D_1, D_2, D_3 和 D_4 分别为

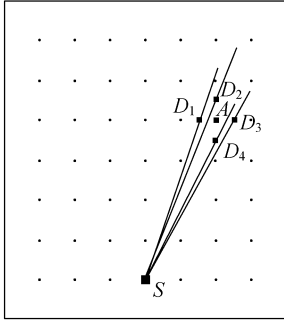


图 1 图像数字化与映射范围

Fig. 1 Image digitalization and mapping range

A 和其 4 个相邻像素之间的中点。假设特征点 S 为种子点,那么对于特征点对 S 和 A ,即可以得到 4 条直线 SD_1, SD_2, SD_3 和 SD_4 ,它们的方向角 θ 可由下式计算求得:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \tan^{-1} \left(\frac{x_S - (x_A - 0.5)}{y_S - y_A} \right), \\ \theta_2 &= \tan^{-1} \left(\frac{x_S - x_A}{y_S - (y_A + 0.5)} \right), \\ \theta_3 &= \tan^{-1} \left(\frac{x_S - (x_A + 0.5)}{y_S - y_A} \right), \\ \theta_4 &= \tan^{-1} \left(\frac{x_S - x_A}{y_S - (y_A - 0.5)} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

其中 (x_S, y_S) 和 (x_A, y_A) 分别是 S 和 A 对应的坐标,而此 4 个角度中的最小者 θ_{\min} 和最大者 θ_{\max} 能由下式得到:

$$\begin{aligned} \theta_{\min} &= \text{MIN}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) \\ \theta_{\max} &= \text{MAX}(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4) \end{aligned} \quad (3)$$

则该特征点对在参数空间中映射时, Hough 参数空间中从 θ_{\min} 到 θ_{\max} 之间的所有角度值都将进行累加,也就是说,图像空间中的两个点对应参数空间的 $(\theta_{\max} - \theta_{\min}) / \Delta_q \theta$ 个点,其中 $\Delta_q \theta$ 是参数 θ 的量化宽度。当点 A 变化时,点对 SA 也相应变化,此时 $(\theta_{\max} - \theta_{\min}) / \Delta_q \theta$ 也不同,即映射过程是自适应的。

3.2 算法描述

采用 MTM 映射方式的 Hough 变换可以描述如下:

给定一个全局阈值 T , θ 的量化宽度为 $\Delta_q \theta$ 。

(1) 种子点的选取:设在 $N \times N$ 的二值边缘图像中存在 K 个特征点,它们构成集合 $\text{Set} = \{(x_i, y_i) | i=1, 2, \dots, K\}$,依次从集合中选出一 (x_i, y_i) 作为种子点 S 。为该种子点建立一个一维累加器 $H(\theta)$,即 Hough 参数空间,并将其赋初值为 0。根据 θ 的量化宽度, $H(\theta)$ 的空间大小为 $180 / \Delta_q \theta$ 。

(2) 种子点选定后,按顺序选择每一个不同于种子点的特征点 (x_j, y_j) 作为点 A ,与种子点 S 构成一个点对(它们可以确定一条直线)。

(3) 计算参数:根据 MTM 映射方式,依据公式(2)和(3)可以得到 4 个 θ 值,并得到 4 个 θ 值的最大值 θ_{\max} 和最小值 θ_{\min} 。

(4) 参数空间的累加:对于 Hough 参数空间 $H(\theta)$ 中的所有量化单元 $H(\theta_n)$ ($\theta_{\min} < \theta_n < \theta_{\max}$) 都做加 1 操作,即 $H(\theta_n) = H(\theta_n) + 1$ 。

(5) 检测在累加矩阵中的峰值:当特征点集 Set 中,全部点对都经过(2)~(4)步后,若参数空间 $H(\theta)$ 中出现了峰值点 θ_m ,而且该峰值大于阈值 T ,则可认为由种子点 $S(x_i, y_i)$ 和 θ_m 确定的直线就是原图像中的一条直线,可方便地得到另一个直线参数 $\rho_m: \rho_m = x_s \cos \theta_m + y_s \sin \theta_m$ 。在另一个数组 $H^*(\rho, \theta)$ 中保留已经抽取的直线参数 ρ_m 和 θ_m 。

(6) 从特征点集 Set 中删除检测到的直线上所有的特征点,避免在后续的迭代中进行不必要的重复操作。若此时集合 Set 中的特征点数小于阈值 T ,则算法结束,否则,从集合 Set 中选取另一点作为种子点,重新初始化累加矩阵 $H(\theta)$,然后返回(2)。

当算法结束后,被检测到的直线参数就保存在数组 $H^*(\rho, \theta)$ 中。

3.3 滑动窗口策略

交通标志图像中的直线,长短不一,有时相差还比较大。为了将这些长短不一的直线正确地提取出来,本文采用了滑动窗口的办法。假设以种子点为原点,滑动窗口的大小被设定为 $M \times M$,则在映射时只有在该窗口内的特征点才被映射到参数空间中。如果直线长度大于窗口尺寸,直线可

能被检测为两条或更多条直线。为了解决这个问题,可将已检测到的直线上特征点删除,在算法中,当一条直线被检测到后,不仅删除窗口中的属于该条直线的特征点,也删除窗口外属于该直线上的特征点,窗口大小应该依据图像边缘的复杂程度和图像中最短的直线长度来确定。

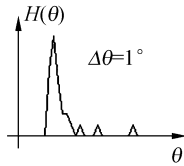
4 性能评价和讨论

4.1 参数空间中的峰值

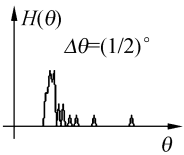
图 2 显示了一条直线在 MTO- θ 和 MTM 映射方式下参数空间中的情况。图 2(a)为图像空间中的一条直线, S 为种子点。图 2(b), 2(c)和



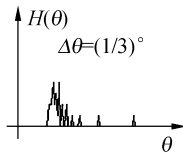
(a) 图像空间中
的一条直线
(a) A line in image
space



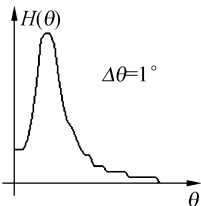
(b) 采用 MTO- θ 映射
时 $\Delta\theta=1^\circ$ 的结果
(b) Result for $\Delta\theta=1^\circ$ with
MTO- θ



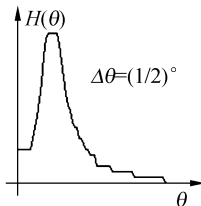
(c) 采用 MTO- θ 映射时
 $\Delta\theta=(1/2)^\circ$ 的结果
(c) Result for $\Delta\theta=(1/2)^\circ$
with MTO- θ



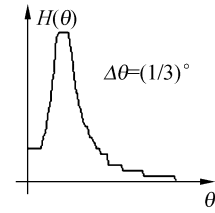
(d) 采用 MTO- θ 映射时
 $\Delta\theta=(1/3)^\circ$ 的结果
(d) Result for $\Delta\theta=(1/3)^\circ$
with MTO- θ



(e) 采用 MTM 映射时
 $\Delta\theta=1^\circ$ 的结果
(e) Result for $\Delta\theta=1^\circ$
with MTM



(f) 采用 MTM 映射时
 $\Delta\theta=(1/2)^\circ$ 的结果
(f) Result for $\Delta\theta=(1/2)^\circ$
with MTM



(g) 采用 MTM 映射方式时 $\Delta\theta=(1/3)^\circ$ 的结果

(g) Result for $\Delta\theta=(1/3)^\circ$ with MTM

图 2 图像空间中的一条直线在参数空间中情况

Fig. 2 Peaks in Hough space for a line

2(d) 分别显示了 MTO- θ 取不同量化宽度时参数空间的情况。从这 3 幅图可以明显地发现,由于图像的数字化的,构成直线的点不完全在一条直线上,随着量化宽度的减小,直线在参数空间中的峰值扩散现象越来越严重,峰值越来越小,这就加大了阈值选取的难度,不利于直线的正确检测。

图 2(e), 2(f) 和 2(g) 分别显示了 MTM 取不同量化宽度时参数空间的情况。从这 3 幅图中可以看出峰值的大小几乎没有发生变化。如果图像中只有一条直线,参数空间中的曲线是平滑的,无局部极值。因此,基于 MTM 的 Hough 变换对量化宽度不敏感,这有利于阈值的选取和直线的正确检测。

在“多对多”映射方式下,随着量化宽度的减少,直线所对应的峰值处不是对应一个点,而是对应一个面(范围)。这个现象是由在映射时图像中的一个点被映射成参数空间中多个点引起的。随着量化宽度的减少,这个面的宽度会变宽,但从图 2 可以看出其最大的宽度也只有一个像素的宽度,不会影响对直线精度的检测。

4.2 空间复杂度

在 OTM 映射方式下,以标准 Hough 变换为例。假设一幅 $N \times N$ 的二值边缘图像中有 m 个特征点,参数空间中参数的量化宽度分别为 $\Delta_q \rho$, $\Delta_q \theta$, 参数 ρ 和 θ 的变化范围分别为 $(-\sqrt{2}N/2, \sqrt{2}N/2)$ 和 $(0, \pi)$ 。此时, Hough 参数空间所需要的辅助存储单元为:

$$S_{OTM} = \max(\theta) \cdot \max(\rho) = \frac{\sqrt{2}N}{\Delta_q \rho} \cdot \frac{\pi}{\Delta_q \theta} = \frac{\sqrt{2}\pi \cdot N}{\Delta_q \rho \cdot \Delta_q \theta} \quad (4)$$

若 $\Delta_q \theta = 1/2N$, $\Delta_q \rho = 1/2\sqrt{2}^{[15]}$, 则所需存储单元数为 $8\pi N^2 (O(N^2))$ 。

在 MTO_{ρ} 下,除存储所检测到的直线参数所用的辅助存储单元外,参数空间只需一个存储单元。这在所有的映射方式下所用的参数空间是最少的^[11]。

在 MTO_{θ} 和 MTM 映射方式下,Hough 参数空间都只利用了一个参数 θ ,也就是说,只需要一维空间 $H(\theta)$,设 θ 的量化宽度为 $\Delta_q\theta$,则在这两种映射方式下,Hough 参数空间所需要存储单元为:

$$S_{MTM} = S_{MTO_{\theta}} = \max(\theta) = \frac{\pi}{\Delta_q\theta} \quad (5)$$

与 OTM 映射方式比较,它们的比例为:

$$R_{MTO_{\theta}OTM} = R_{MTMOTM} = \frac{\sqrt{2}N}{\Delta_q\rho}$$

4.3 计算复杂度

在 OTM 映射方式下,以标准 Hough 变换为例,每一个特征点被映射到参数空间时的计算次数为 $\pi/\Delta_q\theta$,所以在 OTM 映射方式下的计算复杂度为:

$$V_{OTM} = \pi \cdot m / \Delta_q\theta \quad (6)$$

若 $\Delta_q\theta = 1/2N$,则其计算次数为 $2N \cdot m \cdot \pi$ ^[15]。

在 MTO_{ρ} 中,最坏情况下的计算工作量^[11]为:

$$V_{MTO_{\rho}} = \sum_{n=T}^m (n-1)(n-2) \quad (7)$$

其中 m 为图像中的特征点的数目。这个计算复杂度是 $O(m^3)$,它的计算复杂度是比较大的。

在 MTO_{θ} 中,最坏情况下的计算工作量^[10]为:

$$V_{MTO_{\theta}} = C_m^2 = m(m-1)/2 \quad (8)$$

因为在 MTO_{θ} 中只计算了一个 θ 值,而 MTM 映射方式在映射时计算了 4 个 θ 值。所以,在 MTM 映射方式下,最坏情况下的计算工作量为:

$$V_{MTM} = 4m(m-1)/2 \quad (9)$$

但在 MTO 映射(MTO_{ρ} , MTO_{θ})和 MTM 映射方式下还有一些措施来减少计算次数,如:

- (1) 若检测到了一条直线,那么在这条直线上的特征点将从特征点集 Set 中删除,避免重复。
- (2) 对于第 k 个种子点,如果 Set 中的特征点的个数小于全局阈值 T 时,此时在特征点集中的特征点不可能构成一条直线,此时算法结束。
- (3) 如果图像比较复杂,又包含很多的孤立

点,可采用滑动窗口来限制特征点对的距离。

实际上, MTO 映射和 MTM 映射的计算次数要比式(8)和式(9)小得多。当被检测的图像中不存在(或算法没有检测到)直线时,计算次数将达到最大值。

5 实验结果和分析

文献[10,11]通过实验对 MTO_{θ} 和 OTM 之间、 MTO_{ρ} 和 OTM 之间及 MTO_{θ} 和 MTO_{ρ} 之间作了大量的分析和比较,比较结果表明:基于 MTO_{ρ} 的算法可准确检测图像中的直线,而基于 MTO_{θ} 的算法则有较高的时空效率。本文算法将与 MTO_{θ} 和 MTO_{ρ} 算法的实验结果进行比较。实验数据和结果都是在 VC++6.0/Windows XP / Celeron2.4G/256M 环境下运行得到。

实验 1:MTM 和 MTO_{θ} 的结果比较

图 3(a)是公路边的人行横道处经常看到的交通标志图,大小为 400×354 。图中直线的长短不一,直线分布比较密集。

采用 MTO_{θ} 和 MTM 映射方式在不同的量化宽度下对图 3(b)进行直线检测,在检测中,采用了滑动窗口(大小为 30×30),得到的结果图像分别如图 3(c)~3(h)所示,检测参数和结果数据如表 1 所示。

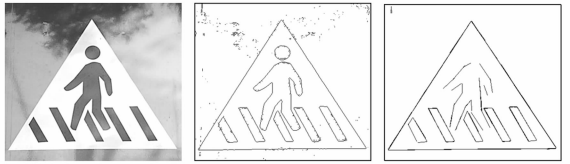
(1) 阈值选择和鲁棒性。如图 3 和表 1 所示,采用 MTO_{θ} 映射方式时,一些直线被漏检,且可选阈值范围较小。采用 MTM 映射方式,能正确检测图 3(b)中所有直线,且可选阈值范围较宽,是 MTO_{θ} 映射方式的 3 倍。

表 1 实验 1 中直线检测的参数和结果比较

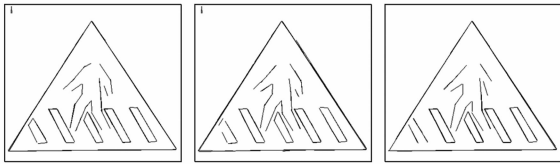
Tab. 1 Comparison between MTM and MTO_{θ} in experiment 1

	映射方式	滑动窗口大小	$\Delta_q\theta$	阈值	时间 (ms)	最佳可选阈值范围
3(c)	MTM	30×30	$(1/2)^{\circ}$	10	266	6~10
3(d)	MTM	30×30	$(1/4)^{\circ}$	10	238	6~11
3(e)	MTM	30×30	$(1/8)^{\circ}$	10	328	6~11
3(f)	MTO_{θ}	30×30	$(1/2)^{\circ}$	5	266	4~5
3(g)	MTO_{θ}	30×30	$(1/4)^{\circ}$	5	234	4~5
3(h)	MTO_{θ}	30×30	$(1/8)^{\circ}$	5	266	4~5

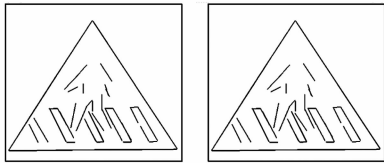
(2) 运行时间。两种算法的运行时间几乎相



(a)实际拍摄图像 (b)二值边缘图像 (c)采用 MTM 映射在 $\Delta\theta$ 为 $(1/2)^\circ$ 下的结果
 (a) Origin image (b) Edge of (a) (c)Results of MTM in $\Delta\theta=(1/2)^\circ$



(d)采用 MTM 映射在 $\Delta\theta$ 为 $(1/4)^\circ$ 下的结果 (e)采用 MTM 映射在 $\Delta\theta$ 为 $(1/8)^\circ$ 下的结果 (f)采用 MTO- θ 映射在 $\Delta\theta$ 为 $(1/2)^\circ$ 下的结果
 (d)Results of MIM in $\Delta\theta=(1/4)^\circ$ (e)Results of MIM in $\Delta\theta=(1/8)^\circ$ (f)Results of MTO- θ in $\Delta\theta=(1/2)^\circ$



(g)采用 MTO- θ 映射在 $\Delta\theta$ 为 $(1/4)^\circ$ 下的结果 (h)采用 MTO- θ 映射在 $\Delta\theta$ 为 $(1/8)^\circ$ 下的结果
 (g)Results of MTO- θ in $\Delta\theta(1/4)^\circ$ (h)Results of MTO- θ in $\Delta\theta(1/8)^\circ$

图 3 实验一

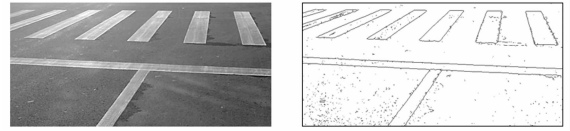
Fig. 3 Experiment 1

同,且对量化宽度不敏感。

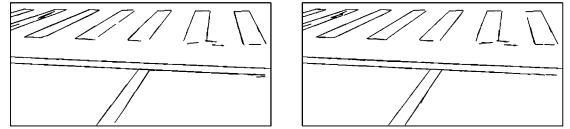
另外,在利用 MTO- θ 算法进行检测时,存在漏检的现象,Chutatape^[10]在做实验时,也存在这种现象,这种漏检现象正是由于参数空间中的峰值发生扩散引起的。利用 MTM 映射方式时,漏检测的现象没有发生。

实验 2:MTM 和 MTO- ρ 的结果比较

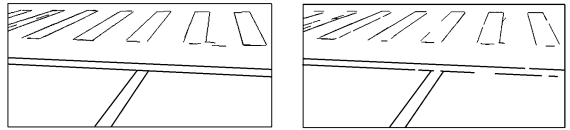
图 4(a)是一幅用 CCD 拍摄的街道十字路口的斑马线图像,图像大小为 680×320 。图 4(b)是二值边缘图像。在该图像中存在许多噪声点,直



(a)实际拍摄图像 (b)二值边缘图像
 (a) Origin image (b) Edge of (a)



(c)采用 MTM 映射在 $\Delta\theta$ 为 $(1/2)^\circ$ 下的结果 (d)采用 MTM 映射在 $\Delta\theta$ 为 $(1/4)^\circ$ 下的结果
 (c)Results of MTM in $\Delta\theta=(1/2)^\circ$ (d)Results of MTM in $\Delta\theta=(1/4)^\circ$



(e)采用 MTM 映射在 $\Delta\theta$ 为 $(1/8)^\circ$ 下的结果 (f)采用 MTO- ρ 映射在 $\Delta\theta$ 为 $(1/2)^\circ$ 下的结果
 (e)Results of MTM in $\Delta\theta=(1/8)^\circ$ (d)Results of MTO- ρ in $\Delta\theta=(1/2)^\circ$

图 4 实验二

Fig. 4 Experiment 2

线的正确检测将受到这些噪声点的影响。采用 MTM 映射方式在不同的量化宽度下对图 4(b)进行直线检测,检测到的直线结果分别如图 4(c)~4(e)所示,采用 MTO- ρ 检测到的直线如图 4(f)所示。检测参数和结果数据如表 2 所示。

(1)阈值的选择与鲁棒性。如图 4 和表 2 所示,在 MTM 和 MTO- ρ 映射方式下,算法的检测结果几乎相同,因此,两种算法都能有效检测图像中的直线,但在 MTO- ρ 映射方式下,并不容易得到合适的阈值,必须试验很多次,才能选择合适的阈值。而在 MTM 映射方式下,阈值的选择却容易了许多。

(2)运行时间。表 2 表明 MTO- ρ 的时间复杂度较大,尽管有一些措施可以减少算法的运行时间,但当图像中噪声过多时,这些措施很难发挥

作用。在这次实验中,MTM 方法的运算时间只有 MTO $_{\rho}$ 方法的 10% 左右。

表 2 实验 2 中直线检测的参数和结果比较

Tab. 2 Comparison between MTM and MTO $_{\rho}$ in experiment 2

映射方式	滑动窗口大小	Δ_{ρ}	Δ_{θ}	阈值	时间 (ms)	最佳可选阈值范围
4(c)	MTM	40×40	(1/2) $^{\circ}$	15	829	5~16
4(d)	MTM	40×40	(1/4) $^{\circ}$	15	953	5~16
4(e)	MTM	40×40	(1/8) $^{\circ}$	15	1 110	6~16
4(f)	MTO $_{\rho}$	1		11	12 359	

说明: MTO $_{\rho}$ 方法结果是经过多次实验,选择最佳效果时的参数值

6 结 论

直线是交通标志中最常用的基本图形之一,

也是交通标志识别中稳定而重要的特征之一。本文提出用改进的 Hough 算法来准确地提取交通标志图像中的直线。在改进的 Hough 算法中,采用“多对多”映射方式,尽管该方法的计算量稍大于 MTO $_{\theta}$ 映射下的计算量,但文中的实验结果显示该方法的阈值选择范围是 MTO $_{\theta}$ 的 3 倍,而算法运算时间只是 MTO $_{\rho}$ 方法的 10% 左右。

本文方法具备 Hough 变换的特点,如良好的几何特性、很强的鲁棒性及可并行性等,而且,它还有如下一些独特的性质,如对参数量化宽度不敏感、没有发生峰值扩散、便于峰值检测等。实验结果可见本文提出的新方法能在可接受的时间里正确提取交通标志中的直线,并能对它们进行定位。本文方法还可以用于其它图像(如票据图像、符号图像等)中的直线检测。

参考文献:

- [1] 朱双东, 陆晓峰. 道路交通标志识别的研究现状及进展[J]. 计算机工程与科学, 2006, 28(12): 50-53.
ZHU SH D, LU X F. A survey of the research on traffic sign recognition[J]. *Computer Engineering & Science*, 2006, 28(12): 50-53. (in Chinese)
- [2] LEAVERS V F. Survey: which Hough transform [J]. *Computer Vision, Graphics and Image Processing: Image Understanding*, 1993, 58(2): 250-264.
- [3] HOUGH P V C. A method and means for recognizing complex patterns [P]. US: 3069654, 1962.
- [4] CHAU C P, SIU W C. Adaptive dual-point Hough transform for object recognition [J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2004, 96: 1-16.
- [5] 陈洪波, 王强, 徐晓蓉, 等. 基于改进 Hough 变换的符号线段特征提取 [J]. 光学精密工程, 2003, 11(6): 632-636.
CHEN H B, WANG Q, XU X R, et al.. Extrac-
- tion of symbol line-features based on improved Hough transformation [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2003, 11(6): 632-636. (in Chinese)
- [6] SONG J, MICHAEL R L. A Hough transform based line recognition method utilizing both parameter space and image space [J]. *Pattern Recognition*, 2005, 38: 539-552.
- [7] 余家祥, 萧德云, 姜鲁东. 应用 Hough 变换的炮射航空摄像机外参数估计方法 [J]. 光学精密工程, 2007, 15(8): 1269-1274.
YU J X, XIAO D Y, JIANG L D. Exterior parameter estimation for aerial camera based on Hough transform [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(8): 1269-1274. (in Chinese)
- [8] CHA J, COFER R H, KOZAITIS S P. Extended Hough transform for linear feature detection [J]. *Pattern Recognition*, 2006, 39: 1034-1043.
- [9] 崔继文, 谭久彬, 教磊, 等. 约束抽样 Hough 变换的光纤端面精确定位 [J]. 光学精密工程, 2007, 15(1): 9-15.
CUI J W, TAN J B, AO L, et al.. Precise location

for optical fiber surface with sampling restraint Hough transformation[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(1):9-15.

- [10] CHUTATAPE O, GUO L. A modified Hough transformation for line detection and its performance [J]. *Pattern Recognition*, 1999, 32: 181-192.
- [11] WANG Q, CHEN H B, XU X R, *et al.*. A newly modified algorithm of Hough transform for line detection [J]. *International Journal of Image and Graphics*, 2005, 5(4): 715-728.
- [12] XU L, OJA E, KULTANEN P. A new curve de-

tection method: randomized Hough transform (RHT) [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1990, 11(5): 331-338.

- [13] CHOO Y J, KANG B S. Ellipsoidal droplet detection using randomized Hough transform[J]. *Atomization and Sprays*, 2006, 16(4): 365-378.
- [14] JI Q, ROBERT M H. Error propagation for the Hough transform [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2001, 22: 813-823.
- [15] LEUNG D N K, LAM L T S, LAM W C Y. Diagonal quantization for the Hough transform [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1993, 14:181-189.

作者简介:



陈洪波(1972—),男,湖南茶陵人,博士研究生,副教授。主要从事图像处理和模式识别等方面的研究。E-mail: hongbochen@163.com



陈真诚(1966—),男,湖南永州人,博士,教授,博士生导师,主要从事医学图像处理、医学传感器等方面的研究。E-mail: chzhch@mail.csu.edu.cn



王 强(1952—),男,安徽安庆人,博士,教授,主要从事图像处理和机器视觉等方面的研究。E-mail: qwang@mailbox.gxnu.edu.cn



汤井田(1965—),男,江苏连云港人,博士,教授,博士生导师。主要研究方向为信息检测与处理。E-mail: jttang@mail.csu.edu.cn



徐晓蓉(1979—),女,陕西渭南人,硕士,讲师,主要从事图像处理、信息检测方面的研究。E-mail: rortyrong@163.com