

基于视频图像 Harris 角点检测的车辆测速

徐伟 王朔中

(上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072)

摘要 为了方便快速地进行车速测量,提出了一种用于测量视频图像中车辆速度的方法。该方法取运动角点为特征量,通过选择灰度相关函数为特征匹配函数,实现了车辆在一定帧差内移动距离的测量。与传统方法相比,该方法不仅对设备的限制更小,而且运算速度更快。

关键词 Harris 角点检测 运动角点 灰度相关

中图分类号: TP391.41 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2006)11-1650-03

Measurement of Vehicle Speed Based on Harris Corner Detector

XU Wei, WANG Shuo-zhong

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072)

Abstract This paper presents a method to measure speed of vehicles in video sequences conveniently and rapidly. Motion corner points are chosen to form a feature vector, and the image intensity is used as a feature matching function to measure inter-frame movement of the vehicle. With the present method, device limitations are alleviated and processing time reduced compared to traditional techniques.

Keywords Harris corner detector, motion corner point, intensity correlation

1 引言

目前,多数车速测量系统都是使用专用的测速设备,如在地面铺设传感器,再通过计算车辆经过传感器的时间差来进行车速测量;或者利用光波、声波、电磁波等在车辆表面反射的时间差或多普勒频移来计算车辆移动的速度。由于使用这些方法必须事先安装相应的测量设备,无论在人力或物力方面都有较高的要求。为了方便快速地进行车速测量,本文采用一种基于视频图像的方法,该方法只需应用图像处理技术对摄像机拍摄的车辆视频信号进行处理,就可以方便地实现对车速进行测量。

2 测速原理

物体的运动速度可由单位时间内的位移计算得到:

$$v = \Delta S / \Delta t = (S_1 - S_0) / (t_1 - t_0) \quad (1)$$

在视频图像中, Δt 可直接由帧差导出,因此只要需计算 ΔS , 即可进行位移计算。本文主要关注如何由视频序列图像计算车辆在帧间的位移 ΔS 。

用图像处理来直接测量车速可按图1的流程进行。由图1可以看出,计算帧间目标的位移,主要难点在于特征的提取和匹配。

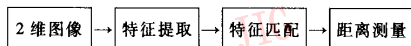


图1 车速测量流程图

Fig. 1 Flowchart of vehicle speed measurement

3 特征提取

为了测量车速,必须在视频序列中通过提取车辆不变的特征量来进行匹配,以便计算距离。由于特征的可靠提取直接影响匹配结果的可靠性,因此选择合适的特征量和特征提取算法十分关键。通常可选择图像中的直线对象或者点作为匹配的特征

收稿日期:2006-06-15; 改回日期:2006-07-28

第一作者简介:徐伟(1982~),男,2004年获上海大学通信工程专业学士学位,现为上海大学通信与信息工程专业硕士研究生。主要研究方向为图像处理、计算机视觉。E-mail: weixu555@hotmail.com

量。对于直线的提取主要使用的方法有 Hough 变换、随机 Hough 变换(random Hough transform)等;而提取点的常用方法有边缘检测、角点检测等。本文针对交通视频中车辆图像的实际情况,将运动角点检测的 Harris 检测算子^[1]作为车辆特征提取的算法。Harris 角点的提取方法如下:

$$E(x, y) = \sum_{u, v} w(u, v) [I(x + u, x + v) - I(x, y)]^2$$

$$= [u, v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$M = \sum_{u, v} w(u, v) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(2),式(3)为 Harris 角点检测使用的像素相关函数,其中 I 为图像像素矩阵, w 是用来进行降噪处理的平滑窗, (x, y) 为相应图像像素坐标, $I(x, y)$ 为 (x, y) 点像素值, I_x, I_y 分别为图像像素在水平方向和垂直方向的 1 阶偏微商, I_x^2, I_y^2 分别为图像像素在水平方向和垂直方向的 2 阶偏微商, (u, v) 为偏移坐标。最后通过计算角点响应函数就可以检测出图像中的角点:

$$R = \det(M) - k \operatorname{tr}(M)^2 \quad k \in [0, 0.04] \quad (4)$$

Harris 角点检测算法的各项性能都得到了很高的评价^[2]。用 Harris 角点检测算子对连续 3 帧视频图像进行角点检测的实例见图 2,由图 2 可以看出 Harris 角点检测虽能够起到较好的特征提取作用,但同时也发现,检测出的角点(图中以“+”号表示)有很多与车辆速度测量无关,其对于后续的特征匹配不但没有任何作用,反而会匹配造成干扰,从而加大计算复杂度。由于所利用的并不是单帧图像,而是视频序列,因此可以利用前后几帧图像的相关性去除其中的非运动角点。

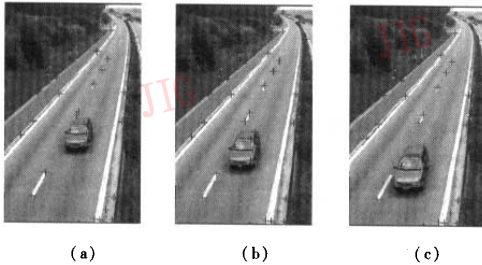


图 2 使用 Harris 角点检测算法对连续 3 帧图像进行角点检测的结果

Fig. 2 Corner detection in three consecutive frames using the Harris corner detector

去除非运动角点的方法是,首先,获得含有待测车辆的连续 3 帧图像,分别对其进行 Harris 角点检测,将所得到的角点集合分别记为 E_1, E_2, E_3 ,对于 E_1 中的每一个角点,判断其在 E_2 中是否同样存在,若存在,则在 E_1 中删除该角点,反之则将该角点保留在集合 E_1 中。同样,对 E_3 中的角点也进行相同的处理。

由于经过上述运动角点判断处理后,就删除了大部分无用的角点,从而为后续匹配创造了良好的条件。图 3(a)和图 3(b)是经过运动角点判断后的角点检测结果,它们将作为特征匹配的最终特征集合。

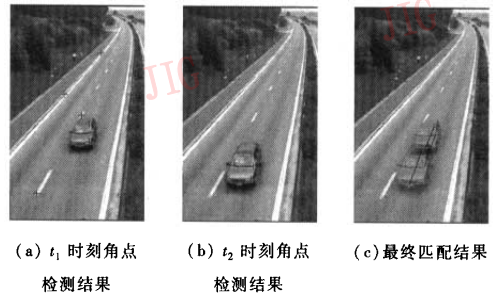


图 3 不同时刻运动角点检测和最终匹配结果

Fig. 3 Result of motion corner detection and feature matching

4 特征匹配

在获得 E_1 和 E_3 这两个特征集合之后,就需要将对应特征点进行匹配。对于这类问题,在计算机视觉中,常用的方法是利用同一场景中对极几何^[3]的约束关系,求解相应的基础矩阵 F 来对相应的特征点进行匹配。考虑到基础矩阵 F 求解过程非常复杂,且运算量大,如果对于测量有一定的实时性要求的话,这种方法就不是一种理想的方法。因此,本文提出一种简单的基于灰度相关的特征点互匹配算法,即

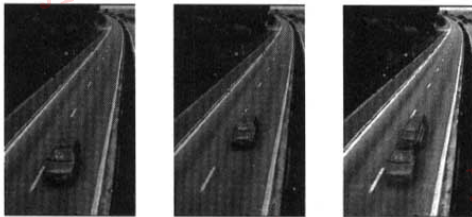
(1) 首先,对于每一个特征点 $p_i \in E_1, p_j \in E_3$, 分别以特征点为中心,构造一个 $N \times N$ 大小的窗口,分别记为 W_i, W_j ,然后分别计算以每个特征点为中心的各个窗口的相关函数

$$C_{cor}(i, j) = \frac{\sum_{n=1}^{N \times N} (W_i W_j)}{\sum_{n=1}^{N \times N} W_i \sum_{n=1}^{N \times N} W_j} \quad (5)$$

根据 $C_{cor}(i, j)$ 的值即可判定相应特征点的接近程度,相关值越大,说明相应的特征点邻域灰度越接近。

(2) 在找寻匹配点对的过程中,可采用互匹配的方法来进行匹配,即当 E_1 中的特征点 p_i 的最佳匹配点为 E_2 中的 p_j ,同时 p_j 的最佳匹配点也为点 p_i 时,就认为 (p_i, p_j) 为一对最佳匹配特征点。由此即可得到最终的角点匹配结果(见图 3(c))。

对于车速测量的实际情况,天气或者时间变化所产生的光照变化会造成摄像头采集图像发生亮度变化。图 4 就是在图 3 的基础上降低了图像亮度的运动角点检测以及匹配结果。由图中可以看出,对于亮度变化,本算法仍然具有一定的稳健性。



(a) t_1 角点检测结果 (b) t_2 角点检测结果 (c) 最终匹配结果

图 4 不同时刻运动角点检测和最终匹配结果 (光照发生变化)

Fig. 4 Result of motion corner detection and feature matching (under different illumination)

5 距离测量

根据上述匹配结果可见,角点匹配对并不是唯一的。由于各个角点匹配对对应于 3 维空间,其并不在同一水平面上,因此即使它们在 3 维空间的位移距离是相同的,其投影到 2 维图像平面的位移长度也将会有所差别。对于图 3(c)中的 3 对角点匹配对,其对应的 2 维图像平面位移可见表 1。

表 1 各匹配角点对对应的 2 维平面位移

Tab. 1 Distances of corner points in the image plane

| 匹配角点对 | 2 维平面位移(单位: pixels) |
|-------|---------------------|
| 1 | 52.2 |
| 2 | 40.5 |
| 3 | 45.2 |

如要精确计算各角点对的实际 3 维空间距离,则必须通过求得摄像机的内、外参数来重建 3 维坐标。为了提高处理速度,本文采用近似方法来进行求取。在各匹配角点对中,可选择最接近实际位移的匹配对

来作为 3 维空间的位移度量。由图 5 可以看出,越接近地面的投影平面,由于投影距离越接近车辆的实际移动距离,因此在 2 维平面中的投影距离也越长。由此,在所有的角点匹配对中选择位移最长的匹配对来作为实际移动距离的最近似测量。

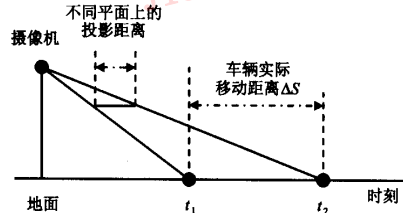


图 5 车辆移动距离在不同平面投影差值示意图

Fig. 5 Distance in different planes

最后,在获得了车辆在 2 维图像中的近似位移 Δs 之后,再利用计算机视觉单视几何^[4]中的单视测量方法,就可以获得车辆在 3 维空间的实际位移 ΔS 。然后由实际位移 ΔS 和相应的帧时间差 Δt ,即可求得车辆的实际运动速度。

6 结论

本文是应用图像处理来对视频信号中的运动目标进行速度测量。与传统方法相比,它不受外加设备条件的限制。同时与计算机视觉中使用的 3 维重建方法相比,计算复杂性也要低得多。

但是必须指出,针对本文的方法,特征点的选择和匹配是关键,因为车速的准确测量是建立在此基础之上的。针对视频信号的特点,如何能够提高特征点提取的稳定性和有效性是需要进一步思考的问题。

参考文献 (References)

- Harris C G, Stephens M J. A combined corner and edge detector [A]. In: Proceedings Fourth Alvey Vision Conference [C], Manchester, UK, 1988: 147 ~ 151.
- Cheng Ou-yang, Wang Guang-zhi, Zhang Quan, et al. Evaluating Harris method in camera calibration [A]. In: Proceedings of 27th Annual International Conference Engineering in Medicine and Biology Society [C], Shanghai, China, 2005: 6383 ~ 6386.
- Hartley R, Zisserman A. Multiple view geometry in computer vision [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000.
- Criminisi A, Reid I, Zisserman A. Single view metrology [A]. In: Proceedings of the Seventh IEEE International Conference in Computer Vision [C], Kerkyra, Greece, 1999: 434 ~ 441.