

# 基于监控视频图像的车辆测速

童剑军 邹明福

(中国科学院自动化研究所, 北京 100080)

**摘要** 基于监控视频图像的车辆测速方法(视频测速)的工作原理,提出了一种视频测速的实现思路,指出了在间隔已知时间的视频帧图像中找到对应块是实现视频测速的关键和难点。对车灯的特征进行了分析,根据车灯区域的特征,提出了采用灰度差水平叠加投影的方法,构造可以代表其鼓形区域的函数,以其作为定位车灯带的判别函数,并根据车灯的特点进行候选块筛选的一种简单快速的车灯区域定位方法,可在平均13ms内准确定位到车灯区域,从而为这一高速条件下视频测速的关键难点提出了一种切实可行的解决办法。

**关键词** 视频测速 帧 车灯定位 梯度

**中图分类号**: TP31 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2005)02-0192-05

## Speed Measurement of Vehicle by Video Image

TONG Jian-jun, ZOU Ming-fu

(Character Recognition Lab, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**Abstract** This paper proposed a real-time vehicle speed measurement algorithm based on video image monitoring. According to the speed equation, to get the speed, if we have two images which the acquisition time between them is known, we need to look for a way to get the position of same block in the two images. In this paper, the theory, implementation flowchart and the key points of the algorithm were presented. A fast vehicle lamp locating method based on vehicle lamp characteristic and horizontal gray level difference projection was provided to solve the main difficulty of the algorithm. The experimental result and the problems that could be resolved in the future were discussed in the end, and the block can be located in 13ms meantime on a conventional 800MHz Intel Pentium III. According the data of result in experiment, the accuracy of speed measurement could probably achieve more than 92%. It shows the possibility to offer a real-time system to measure speed of vehicle by video only. Because of the simple algorithm, the system can be implemented on a wide range of small low power devices, including embedded processors.

**Keywords** speed measurement of vehicle by video image, frame, locate lamp area, gradient

便,设备使用效率提高;(4)可达到很高的测速精度。

## 1 引言

基于监控视频图像对车辆进行测速是一种新型的测速方式,简称为“视频测速”。是指无需使用专用的测速设备,仅仅通过对车辆视频监控信号进行分析,从而获得车辆行驶速度的一种方法。

视频测速方法具有目前所使用的车辆速度测定方法所没有的优点:(1)无需使用专用测速设备,可大大降低系统成本;(2)减少了测速设备,系统简单化,使系统的工作稳定性提高;(3)可在使用摄像头进行车辆监控的同时实现车辆速度测定,安装简单方

## 2 视频测速原理

不存在可以直接测定速度的装置,所有的测速设备或者装置都是依靠下式来实现的,

$$v = \Delta d / \Delta t = (d_1 - d_0) / (t_1 - t_0) \quad (1)$$

但在大多数情况下,可以方便地获得 $\Delta t$ 和 $\Delta d$ 中某一个变量的值,而利用其他手段测量或计算出另一个变量的值。在视频测速中,通过视频信号的固定帧间时间可直接得到 $\Delta t$ ,而通过其他的方法间接地计算出 $\Delta d$ ,此时并不是采用方程式(1)进行速

收稿日期:2003-11-11; 改回日期:2004-09-06

第一作者简介:童剑军(1973~),男,1995年于北京理工大学自动控制系获自动控制专业工学学士学位。现就读中国科学院自动化研究所国家文字识别工程中心,攻读博士学位。研究方向为模式识别。E-mail: microtong@hanwang.com.cn

度的计算,而是采用下式

$$v = \Delta d / \Delta t = (d_1 - d_0) / (t_1 - t_0) = (f(S_1) - f(S_0)) / (t_1 - t_0) \quad (2)$$

其中,  $f(S)$  是一个单映射函数(通常也是递增或递减函数),  $S$  值表示位置, 是一个在实际应用系统中比较容易获得的值。假定预先知道函数  $f(S)$  的表达式, 则通过  $f(S)$ , 可以由  $S_1$  和  $S_0$  计算得到  $d_1$  和  $d_0$  两个变量的值, 相减即可得到  $\Delta d$ , 而实际测量中又能直接获得  $t_1$  和  $t_0$  的值, 从而可以由式(2)计算出  $v$  值。

视频测速的原理即基于此。

图1是在车辆监控视频标准信号中连续采集到的两帧图像。

由两帧图像中可以看到车辆朝摄像机方向由远至近行驶时, 视野中的车辆是由上向下运动的。

如果可以找到两帧图像中的对应点、对应线或者对应块, 并且保证使用的摄像机是固定架设不动的(包括空间位置不动和摄像角度不动, 这在工程中完全可以做到), 则两帧图像中的像素点即有了对应可比性, 分别定位到对应点或对应块在两幅图像中的位置  $S_1$  ( $t_1$  时刻帧图像中) 和  $S_0$  ( $t_0$  时刻帧图像中), 相减可以得到对应点或者对应在  $t_1 - t_0$  (即  $\Delta t$ ) 时间内移动的像素距离 ( $S_1 - S_0$ ) (如图2所示)。根据速度公式, 自然可以求得该块在图像中的移动速度, 单位为“像素/秒”。

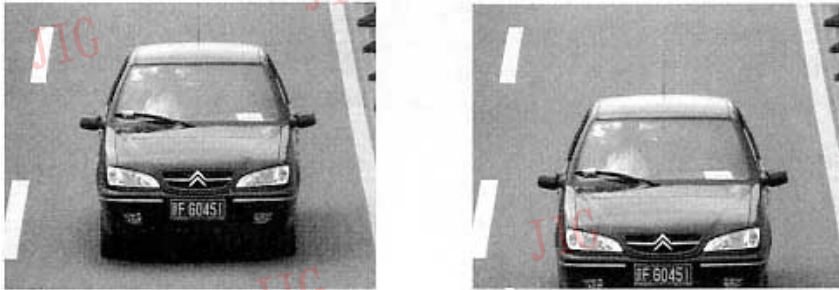
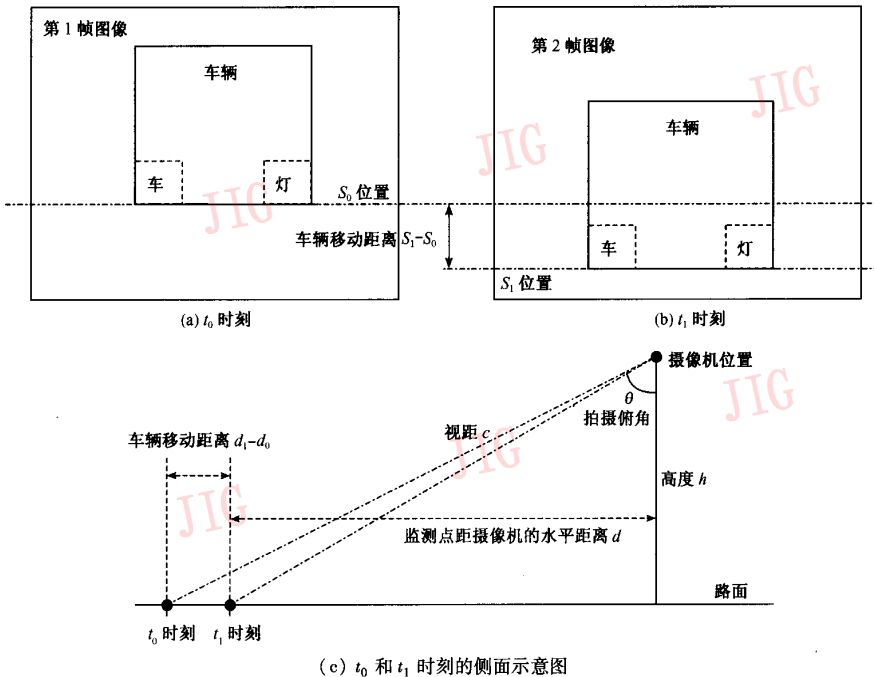


图1 从视频中截取到的两帧图像

Fig.1 Two frames from video



(c)  $t_0$  和  $t_1$  时刻的侧面示意图

图2 在  $t_0$  和  $t_1$  时的两帧图像

Fig.2 Two frames (images) at  $t_0$  and  $t_1$

然而,我们的目的是为了获得车辆的实际速度,而不是车辆在图像中的移动速度,速度单位也不是像素/时间,而应该是公里/小时。因此,必须找到  $\Delta S$  与实际距离  $\Delta d$  的函数关系。

从计算机视觉角度来看, $S$  坐标  $(x, y, z)$  与  $d$  坐标  $(X, Y, Z)$  之间为矩阵关系<sup>[1]</sup>,即

$$\lambda \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = A_{3 \times 3} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3)$$

由于是测速精度的主要影响因素是图像中车灯的定位精度,而不是车灯在图像中坐标与实际坐标间的换算精度,因此,在运算中无需过于精确地进行坐标值的矩阵参数求值和换算,而可以采用近似换算,这种近似换算产生的精度误差对于最后的测速精度的影响并不大,但却可以大大减少算法的运算量,其测速精度仍然可以达到实际系统的应用要求。

在图 2 中,考虑到摄像设备安装的安全性和效果较好的视觉俯仰角度, $\theta$  一般不小于  $60^\circ$ ,此时视距  $c$  和监测点距摄像机的距离  $d$  一般比较大(通常  $c > 13\text{m}$ ,  $d > 10\text{m}$ ),当  $\Delta t$  很小时, $\Delta d$  与  $d$  相比很小,可以忽略图 2 中  $\theta$  的变化  $\Delta\theta$ ,而仅考虑由  $\theta$  产生的透视,此时,可以认为视野范围内所有点相对于摄像头的仰角均为  $\theta$ 。

设视频信号中截取到的图像,其高宽分别为 576 像素和 768 像素(此为标准视频信号分辨率)<sup>[2]</sup>,对于车辆监控视频,可以选择视频视野宽刚好为一个车道宽(约 3.5m,在安装摄像机时可利用路面分道线方便地调节镜头焦距后固定),如图 3 所示。

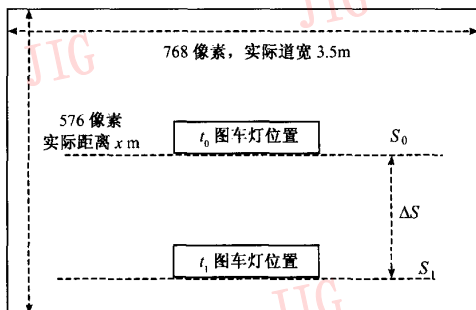


图 3 块在两帧图像中的移动  
Fig. 3 A block moves in two frames

设视野范围内可以看到  $x\text{m}$  的路面长度,即视频高度所代表的路面实际距离为  $x\text{m}$ ,此时有

$$\frac{768}{3.5} = \frac{576}{x \cos \theta}$$

由于前述不考虑视觉透视效果,可认为在图像中的距离相等(垂直方向),其对应的实际距离亦相等

$$\Delta S : 576 = \Delta d : x$$

因此

$$\Delta d = \Delta S \times x / 576 = \Delta S \frac{576 \times 3.5}{768 \cos \theta} \times \frac{1}{576}$$

假设  $\Delta S$  为 110 像素(图 1 中实测像素距离),摄像机架设角为  $\theta = 60^\circ$ (与垂直方向夹角,实验中常用的摄像头安装角度),则

$$\Delta d = 110 \times \frac{3.5}{768 \cos 60^\circ} = 1.0026(\text{m})$$

设  $\Delta t$  为两幅图像的时间差,图 1 中为  $\Delta t = 40\text{ms}$ (即间隔帧),则此时的车辆速度为

$$\begin{aligned} v &= \Delta d / \Delta t = \frac{1.0026\text{m}}{40\text{ms}} = \frac{1.0026\text{km}}{1000} \times \frac{1000 \times 60 \times 60}{40\text{h}} \\ &= 90.2344(\text{km/h}) \end{aligned}$$

### 3 实时测速需解决的问题

实现以上视频测速方法,需解决以下问题:

(1) 找到两幅车辆图像准确的对应块或对应点 找到对应块(或对应线、对应点)才能准确地得到  $\Delta S$ ,计算出车速。对于车辆来说,作为对应块的区域包括车灯、车牌和车轮。对于以车牌作为对应块的定位研究已很多<sup>[3-5]</sup>,但由于算法的复杂性,其计算速度很难满足视频测速的要求。为此,本文以车灯作为对应块定位。

(2) 在尽可能短的时间内定位到该对应块

由于视野范围的限制,当车辆速度非常高时,车辆在视野范围出现的时间可能也就是  $40 \sim 60\text{ms}$ ,为保证有更多的视频采样截图能捕捉到清晰的车辆图像,可以采用逐行扫描视频信号(帧频率  $50\text{Hz}$ ,每次截取完整一帧)或电视制式信号(帧频率  $25\text{Hz}$ ,即  $50$  场/秒,每次截取一场,采用单场插值放大形式)。本文采用后者获得  $50$  张/秒的图像序列,笼统地称之为  $50\text{fps}$ ,即每帧时间间隔仅为  $20\text{ms}$ ,因此可能仅有  $2 \sim 3$  帧图像中可以监测到车辆通过视野范围。要实现高速情况下的测速,必须在极短的时间内迅速定位到对应块(即车灯块),这就要求有高速而准确的车灯定位算法。

(3) 准确地获得图像间的时间差

从视频监控信号中获得多帧图像时可以利用逐行扫描视频信号帧间时距固定( $20\text{ms}$ )的特点,因此

余下的就是确定两幅图像相隔几帧了。考虑到车辆高速通过时可能仅有2~3帧图像中可以看到车辆,为实现高速测速,其被处理的帧间隔数越小越好,考虑到计算机图像采集卡的采集速度(采集一次需10ms左右),试验中采用“每两帧定位一次”的方式进行比较来计算车速。

由上面的分析可知,在实时应用条件下,必须在20~30ms之内完成车辆图像的采集和车灯准确定位。

#### 4 车灯定位

视频测速的关键在于对应块(本文指车灯)定位算法的快速性,最好仅在20ms之内完成车灯的准确定位,考虑到在交通系统中,目前实际系统使用的工控机很难达到当前流行的CPU运算速度超过1G的微机,而模式识别传统算法的计算量太大,很难保证能在如此短的时间内完成车灯的准确定位,因此本文算法均在“灰度实域”范围内完成,而不进行任何信号频域变换方式。

根据对大量样本图像的分析,车灯区域有如下特点:

- (1)两个车灯区域一般是对称的,其灰度变化基本一致;
- (2)两个区域基本处于一条水平线上;
- (3)相对于车身和路面,车灯部分亮度比较大(不论白天晚上);
- (4)灰度变化较为频繁(尤其在白天,这是车灯的反光罩杯造成的);
- (5)车灯下方为保险杠和路面,背景比较单一;
- (6)对应块在视野中是上下运动,对竖直方向偏斜比较小(高速时不会处于转弯状态)

利用这些特征制定的算法规则有利于提高对对应块搜索的准确率和速度。

为克服由于摄像或倾斜引起的偏差,保证梯度检测的准确性,对图像梯度的运算可采用下式计算:

$$\Delta G_{(x,y)} = \max(|G(x+1,y-1) - G(x,y)|, |G(x+1,y) - G(x,y)|, |G(x+1,y+1) - G(x,y)|) \quad (4)$$

其中, $G$ 为图像各像素点灰度, $\Delta G_{(x,y)}$ 为点 $(x,y)$ 的灰度差。

##### 4.1 车灯带位置候选区域获取

将各像素点灰度差值对水平方向叠加投影:

$$BY[i] = \sum_{j=0}^w \Delta G_{(i,j)} \quad (5)$$

其中, $BY$ 为像素沿水平方向在 $Y$ 轴上的叠加投影值的存储数组, $i$ 为投影对应的行位置。

车灯区域应该位于水平投影方向的鼓形区域,根据摄像机架设的位置和抓拍图像的角度,可以设定一个车灯带在图像中的高为 $H$ (经验值),由下式获得车灯带鼓形的平均值和方差:

$$\overline{BY[k]} = (\sum_{j=k}^{k+H} BY[j]) / H \quad (6)$$

$$\delta_{yk} = \sqrt{\sum_{j=k}^{k+H} (BY[j] - \overline{BY[k]})^2} \quad (7)$$

$\overline{BY[k]}$ 和 $\delta_{yk}$ 指以第 $k$ 行为起始位置、高为 $H$ 的水平带状区域所求得水平叠加投影的平均值和方差。

由分析可知,需要找到灰度集中且方差较小的水平带状区域,因此其判断函数按下式取值:

$$\varphi_{yk} = \overline{BY[k]}^2 / \delta_{yk} \quad (8)$$

对应的鼓形区域起始位置为

$$k_{y_n} = \max(\varphi_k) (k_{y_n} \in [k_{y_1}, k_{y_1} + H], i = 0, \dots, n-1) \quad (9)$$

$n$ 为候选水平区域的个数,且各候选区域不相互或者重合,一般取2~3个水平区域即可,记录找到的水平区域的起始位置 $k_{y_1}, k_{y_2}, k_{y_3}$ (以3个候选水平带为例),其值为候选水平带所对应的起始行位置。

##### 4.2 竖直投影判断是否为真正的车灯带

利用车灯的对称性,可判断某一候选带是否为真正的车灯带。

对某一候选水平带区域(设起始行位置为 $k$ )进行竖直方向的梯度和投影计算,同样有

$$BX[j] = \sum_{i=k}^{k+H} \Delta G_{(i,j)} \quad (10)$$

其中, $BX$ 为该水平带的竖直叠加投影(在 $X$ 轴上的投影)的存储数组, $j$ 为叠加投影的列位置。

$$\overline{BX[k]} = (\sum_{j=k}^{k+H} BX[j]) / (2 * H) \quad (11)$$

$$\delta_{xk} = \sqrt{\sum_{j=k}^{k+H} (BX[j] - \overline{BX[k]})^2} \quad (12)$$

$\overline{BX[k]}$ 和 $\delta_{xk}$ 为以列位置 $k$ 为起始点的竖直叠加投影的平均值和方差(此处假设车灯宽与车灯高之比为2)。

由分析可知,需要找到灰度集中且均匀的水平带状区域,因此其判别函数为

$$\varphi_{Xk} = \overline{BX[k]}^2 / \delta_{Xk} \quad (13)$$

$$k_{Xn} = \max(\varphi_k) (k_{Xn} \notin (k_{Xi}, k_{Xi} + H), i=0, \dots, n-1) \quad (14)$$

当候选水平区域满足  $|\varphi_{i,j} - 1| < 0.15$  ( $\varphi_{i,j} = k_{Xi}/k_{Xj}$  ( $i \neq j$ )) 时, 认为此水平区域存在两块灰度特征相似的鼓形区域, 判断其为车灯, 该水平带即判断为所要找的车灯带, 即是进行视频测速计算时所参照的对应块。由此可以排除其他可疑候选块。

事实上, 由于视频测速并不要求对车辆进行车牌或车型识别, 因此只需找到对应块即可, 即使不是真正的车灯块, 只要其在相邻的图像中能定位到同一个区域 (如两次都定位在出租车的车顶标志灯上), 也可以实现视频测速。

## 5 实验结果与结论

表 1 是对录像视频源处理的结果, 由于进行室内测试时无法获知车辆的实际车速, 因此表中仅列出了对车灯定位环节的定位效果及时间。

表 1 实验结果数据和说明

Table 1 Result data and the remark

类目	值	说明
测试时间	23'45"	即录像上从开始测试至结束的时间, 手工计时
人工计量车辆数	278 辆	人工计数
有效测试目标车辆数	213 辆	指车灯完全在视野范围内, 且没有明显转弯行为的车辆
车灯定位正确数	154 辆 (72.3%)	指连续两次定位都准确找到车灯块
其他测速可用定位数	28 辆 (13.15%)	指连续两次定位都没找到车灯块, 但找到了同一块, 可以作为对应块进行测速
测速可用定位数	182 辆 (85.45%)	可以利用对应块进行测速的记录
定位平均耗时	13ms	奔腾 III 500 CPU 计算机上的计算时间

对该课题进行长时间的研究, 取得了一定的进展 (指快速定位算法), 平均对应块定位时间为 13ms (奔腾 III 500 CPU 计算机上的计算时间), 经进行室外驱车模拟试验, 速度测量误差  $< 8\%$  (以司机口头报告即时车速为准), 已初步具备了开发视频测速产品的技术基础。

本文使用的是车灯定位, 而不是常见的以车牌作为对应块的定位, 目前其定位正确率尚低于车牌定位率, 离实用化仍有一段距离, 但车灯定位方式具有算法简单、快速的特点, 其为使本系统在嵌入式硬件平台上实现提供了可能。下一步的研究将主要集中在提高定位速度和定位精度两个方面。

## 参考文献 (Reference)

- 1 Ma Song-de, Zhang Zheng-you. Computer Vision—Theory and Algorithm Foundation [M]. Beijing, SCIENCE PRESS, 1998. [马颂德, 张正友. 计算机视觉——理论与算法基础 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.]
- 2 Shen Tin-zhi, Fang Zi-wen. Digital Image Processing and Pattern Recognition [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1998. [沈庭芝, 方子文. 数字图像处理及模式识别 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998.]
- 3 LIU Ji-lin, Song Jia-tao. Vehicle license plate recognition system with high performance [J]. Acta Automatica Sinica, 2003, 29 (3): 457 ~ 465.
- 4 Wang Nian, Li Jie. Segmentation method of multi-level automobile license location [J]. Journal of Anhui University (Natural Science Edition), 1999, 23 (2): 57 ~ 62. [王年, 李婕. 多层次汽车车牌定位分割方法 [J]. 安徽大学学报 (自然科学版), 1999, 23 (3): 57 ~ 62.]
- 5 Mohan A, Papageorgiou C. Example-based object detection in images by components [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23 (4): 349 ~ 361.