

一种基于视频虚拟检测线的交通流参数检测方法

Video-based Traffic Flow Parameters Detection Method Using Virtual Line Analysis

朱矿军¹ 张海珍² 曲孝利³

(1. 中国人民解放军66010部队, 石家庄 050061; 2. 河北广播电视大学, 石家庄 050018; 3. 中国人民解放军65559部队, 本溪 117022)

ZHU Kuangjun¹, ZHANG Haizhen², QU Xiaoli³

(1. 66010 Unit of PLA, Shijiazhuang 050061, China; 2. Hebei Radio and Television University, Shijiazhuang 050018, China; 3. 65559 Unit of PLA, Benxi 117022, China)

摘要: 实时交通流参数检测在智能交通系统中起着重要的作用。参数检测有多种方式, 其中基于图像处理的视频车辆检测方式近年来发展很快, 由于它具有检测区域大、系统设置灵活等突出的优点, 已成为智能交通系统领域的一个研究热点。车辆的检测基于车道, 在每个车道设置两条虚拟检测线来检测交通流参数, 虚拟检测线的作用类似于电磁感应线圈。系统通过对视频虚拟检测线的预处理将二维的数字图像转化成一维的检测信号, 减小了运算量, 降低了运算负荷。提出的基于视频虚拟检测线特征的交通流参数检测系统已经在PC机上用VC++6.0实现, 并对不同典型天气条件下的交通流视频进行了实验, 实验结果表明该系统具有较高的车流量统计精度。

Abstract: The detection of real-time traffic flow parameters plays a critical role in the Intelligent Transportation System. There have been many methods for parameter detection, and the video-based vehicle detection system has developed quickly in recently years. Since this approach works better in many ways, such as wider-area detection and easier system setting-up, it has become a hot area in Intelligent Transportation System. The vehicle detection is performed along lanes, on which two virtual lines are drawn to help detect traffic flow parameters like inductive loop sensors. The key idea of the system is to convert the 2-dimensional digital image to 1-dimensional detection signal by virtual detection line preprocessing, which reduces computation load. The video-based traffic flow parameters detection system using virtual lines has been implemented on a personal computer in a VC++6.0 environment. Traffic flow video files obtained under different weather conditions were experimented, which results in a higher accuracy in traffic volume detection.

关键词: 智能交通系统; 车辆检测; 图像分割; 边缘检测; 参数检测

Key words: Intelligent Transportation System(ITS); vehicle detection; image segmentation; edge detecting; parameters detection

中图分类号: TP391 文献标识码: A

收稿日期: 2005-09-07

作者简介: 朱矿军, 男, 硕士, 中国人民解放军66010部队, 主要研究方向: 视频车辆检测。E-mail: imagecommunicati@163.com

随着社会经济活动的加强和城市化的加快, 无论发达国家还是发展中国家, 都毫无例外地承受着不断加剧的城市交通问题的困扰^[1]。使用科学的管理方法对现有的道路进行管理, 可以最大限度地挖掘道路的承载能力, 在相当大的程度上改善交通环境。智能交通系统(Intelligent Transportation System, ITS)应运而生, 它把车辆和道路综合起来系统地解决交通问题, 从而极大地提高了现有道路的利用率。车辆检测和交通流参数检测是ITS的基础, 目前, 车辆检测技术主要有环型线圈检测技术、远程交通微波检测技术、视频检测技术等。视频检测技术现在已基本成熟, 具有其他检测方式不可取代的优点^[2-3], 它必将成为将来车辆检测的主要技术。检测的实时性是车流量检测系统的关键, 对拍摄的整个视频画面进行处理, 通过车辆的轮廓检测车辆很难实现实时处理^[4]。利用车辆在视频画面上的虚拟检测线产生的颜色灰度变化来检测车辆, 运算量小, 可以满足实时性要求。同时, 也可以测量与交通控制相关的多个参数。基于视频虚拟检测线的交通流参数检测是当前视频检测的一个热点问题。

1 基于视频虚拟检测线的交通流参数检测方法

1.1 视频采集与目标分割

系统实验采用的视频图像是用DV摄像机在现场采集的，在系统工作前把数字视频转化为压缩的AVI格式的文件保存在计算机中(每秒25帧，每帧320×240像素)，如图1所示。然后系统对视频文件进行处理，提取出所需要的交通流参数。为了减少计算量，达到实时性的要求，以下各步的处理均是在车道的两条检测线上进行的，如图2所示。

目标分割使用了改进的背景帧差法，背景帧差 $D_t(i,j)$ ，是通过计算两帧图像(C_t, B_t)的差值并通过和阈值 Th 比较获得，其运算过程为：



图1 实验视频
Fig.1 Experimental video

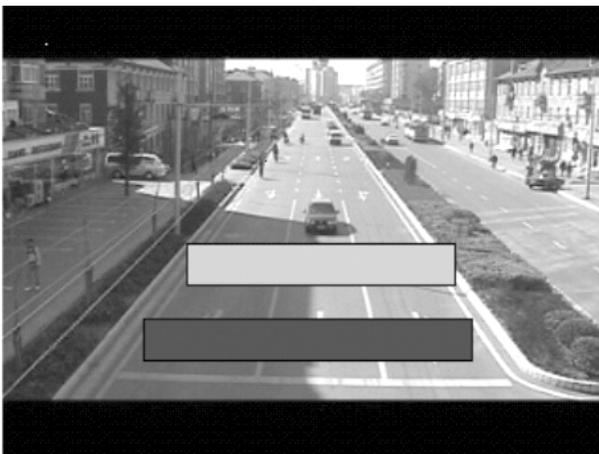


图2 检测车辆用的两条检测线
Fig.2 The two detection lines

$$D_t(i,j) = \begin{cases} 0, & |C_t(i,j) - B_t(i,j)| \leq Th \\ C_t(i,j), & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中： C_t 为输入的图像帧， B_t 为背景图像帧，阈值 Th 的作用是减少噪声和光线变化的影响。背景图像帧是不含车辆的场景图像，如果输入图像不含车辆，则与背景图像相同，此时图像帧差为0；相反，如果输入图像包含车辆，则与背景图像不同，此时图像帧差不为0。本文没有将相应位置的像素值设为1，而是取输入图像处的像素值。这样做的目的是尽量保留图像的原有信息，有利于后面的处理(去除车辆的阴影边缘)。

1.2 边缘检测

车辆的边缘信息比较丰富，阴影边缘较少，通常通过边缘检测后，车辆阴影和路面阳光光线的接触界线会留有边缘，而且边缘检测对于图像亮度的变化也比较稳健，有利于车辆的检测识别。本文中使用了Kirsch边缘检测算法，Kirsch边缘检测对于当前像素3×3的领域(见图3)算法是：对于当前像素e的8个相邻像素，以相邻的3个像素为一组，剩下的5个相邻像素为另一组，3个相邻像素不断的绕中心点e移位。在计算上，将3个一组的像素值之和乘以5后再减去以剩余5个相邻像素为一组的像素之和乘以3，这样就可以得到8个数，最后以这8个数的最大的值作为当前像素的值。例如，其中一个数的计算如式(2)所描述：

$$|5 \times (a_r + b_r + c_r) - 3 \times (f_r + i_r + h_r + g_r + d_r)| \quad (2)$$

由于使用RGB图像格式，每个像素的R、G、B分量需要分别计算。

该算法生成的结果与其他的边缘检测方法生成的结果相比边缘比较粗状，但对于对比度较低的图

a	b	c
d	e	f
g	h	i

图3 边缘检测的结构单元
Fig.3 The structure unit of edge detection

像鲁棒性较强,对于车辆的识别很有利。

1.3 形态除噪

在视频的摄制、传输、格式转换中会带来附加的噪声,摄像机的抖动、背景不够精确也会使分割的结果包含非运动目标的噪声,除噪是必要的步骤。数学形态学是图像处理的一个统一的理论,是对传统图像处理理论的延拓^[5],在一些图像处理运算中使用数学形态学算法往往能取得较好的效果。本文的除噪使用了形态除噪算法,其运算过程如式(3)所描述:

$$(f \circ b) \cdot b = ((f \ominus b) \oplus b \oplus b) \ominus b, \quad (3)$$

式中: \circ 表示开启运算, \cdot 表示闭合运算, \oplus 表示膨胀运算, \ominus 表示腐蚀运算, f 为输入的图像, b 是结构元素。在本文中使用的 b 是一个 3×3 的结构元素,结构中的每一个元素均为0,且结构元素的中心在左上角元素。该算法能够很好地抑制噪声。

1.4 阴影边缘抑制

在边缘检测后,车辆阴影和路面阳光光线的接触界面会留有边缘,影响检测的精度,需要去掉。本文不涉及车辆的分类,去除阴影边缘的主要目的是抑制阴影投射到相邻车道引起车辆的误检,所以使用的结构单元仅是横向有效的,如图4所示。对于背景帧差后的图像 $D_i(i,j)$,如果与当前像素 c 同一行的前两个像素 $c-1$ 、 $c-2$ 和后两个像素 $c+1$ 、 $c+2$ 都不为0,则说明当前像素

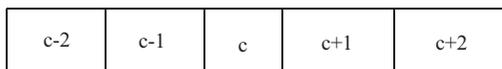


图4 抑制阴影边缘的结构单元

Fig.4 The structure unit of reducing shadow edge

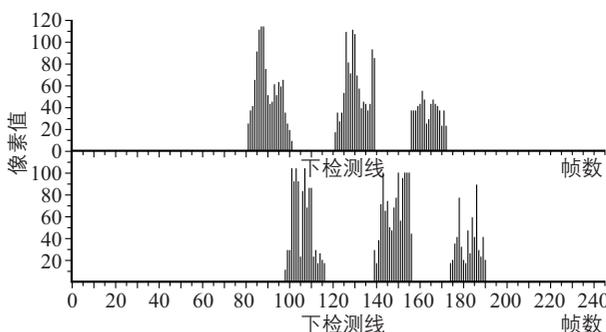


图5 1个车道2条检测线上生成的检测信号

Fig.5 The detection signal of two detection lines on one lane

是内部像素,使形态除噪后图像相应位置的像素为0;相反,说明是边界像素,取形态除噪后图像的相应位置的像素为当前像素。这样就去掉了边缘检测后车辆阴影的边缘,可以有效克服车辆阴影引起的误检。

1.5 虚拟检测线的信号生成与参数提取

对于经过上述步骤处理的图像,使用的仍是24位的RGB结构的数据格式保存,对于每一帧检测线上的所有像素值进行叠加,然后除以检测线上的像素个数进行归一化处理,如式(4)所示:

$$S_i = \frac{1}{h \cdot w} \sum_{i=0}^{h-1} \sum_{j=0}^{w-1} E_i(i,j), \quad (4)$$

式中: h 为检测线的高,像素; w 为检测线的宽,像素; $E_i(i,j)$ 为去除阴影边缘的图像; S_i 为归一化后的虚拟检测线上的信号。图5是1个车道2条检测线上生成的检测信号。

系统提取的参数包括:通过的车辆数、单位时间交通量、车速和车道时间占有率。

1) 车辆计数:检测线上有无车辆通过由信号 S_i 判断,当 S_i 大于设定的阈值时,认为当前帧中检测线上有车辆通过,否则认为无车辆通过。车辆正面的玻璃对车辆的检测信号影响很大,通常当其在检测线上时, S_i 小于设定的阈值。在实际编程实现时规定了最大容错帧数和最小判为车辆的帧数。只有连续判为有车通过的帧数大于最小判为车辆的帧数,且在这连续的帧中判为无车的帧数小于最大容错帧数时才认为有车通过,车辆计数才加1。车辆计数算法流程如图6所示。

2) 单位时间交通量:即统计单位时间内通过的车辆数,在本文中用的是每分钟交通量,它是交通控制中的一个重要参数。

3) 车速:车速的测量是通过两条检测线进行的。记录车辆通过前后两检测线的时间分别为 t_1 和 t_2 ,两检测线的距离为 d ,则通过的车辆速度 $v = d/(t_2 - t_1)$ 。检测线的距离 d 不能太大,使两辆车不能同时位于检测线间为宜,本文中取 $d = 6$ m。另外,对于同一辆车两检测线可能一条漏检,一条正常检测;也可能一条检测线由于噪声或其他因素的影响造成误检而另一检测线正常。在这两种情况发生时,则不进行车辆速度的测量。

4) 车道时间占有率：检测线上有车通过的帧数除以该帧数和无车辆通过的帧数之和就是车道时间占有率。车道时间占有率也是一个非常重要的交通控制参数。

1.6 背景更新

准确的背景图像是系统精确检测的一个重要因素，系统中采用了背景动态更新的方法来适应随时间变化的背景。由于可能漏检车辆，所以不能简单的当检测线上判为无车时就更新背景。系统只有在连续150帧持续判为无车通过检测线时，才能更新背景。更新用的背景计算为：

$B_t(i,j)=(C_{t-120}(i,j)+C_{t-90}(i,j)+C_{t-60}(i,j)+C_{t-30}(i,j))/4$ ，(5)
式中： $B_t(i,j)$ 为更新过的背景， $C_{t-120}(i,j)$ 、 $C_{t-90}(i,j)$ 、 $C_{t-60}(i,j)$ 和 $C_{t-30}(i,j)$ 分别为连续150帧中的第30、60、90和120帧。这样做既保证了更新背景的质量，又保证了动态更新的速度。

2 实验结果和分析

实验中使用的视频流是在大连市黄河路上用DV摄制的，然后转化为压缩的AVI格式的文件。拍摄时间为10:40—11:01，当时天气晴朗，能见度良好。对21 min的视频流进行了分析，实验结果如表1所示。

实验视频如图1所示，左边车道是慢车道，中间车道是快车道，右边车道是超车道。误检是指把1辆车检测为2辆或者把噪声检测为有车的检测。漏检是指视频图像在检测线上有车通过，但算法未能将其检测出来。实验中的误检主要由人力、机动三轮车，跨车道行驶的车辆和慢速行驶的大公共汽车造成。三轮车有一定的宽度被当作了车辆，跨车道的大车容易当作两辆车同时经过两个车道，大公共汽车前面的玻璃有一定的宽度和高度，经过检测线时被检测为无车通过，慢速行驶时大公共汽车被前玻璃分割为两辆。造成漏检的原因有两个，一是有的车辆外形对固定的摄像机反射光线很弱而造成漏检，二是在周围建筑物阴影中的车辆有的颜色太暗，接近背景颜色而导致漏检。

车辆检测是其他参数检测的基础，单位时间内交通量的精度由车辆检测的精度决定。车速由两条检测线来计算，其精度一方面受检测线的检测精度决定；另一方面受帧率快慢决定，具有1/2帧时间乘以实际速度的固有误差，所以帧率越快误差越小，但计算负荷也越大。

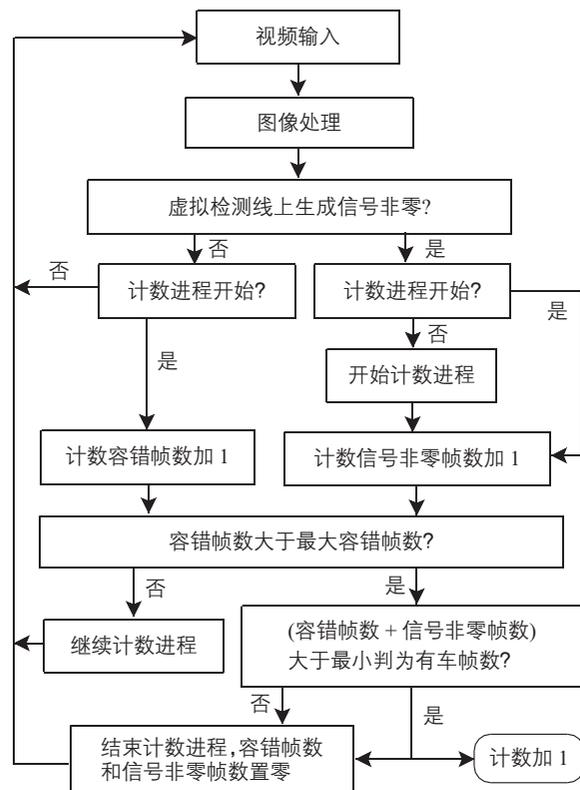


图6 车辆计数算法流程图

Fig.6 The flowchart of vehicle counting

表1 车辆检测结果

Tab.1 The results of vehicle detection

位置	人工计数 / 辆	误检车辆 / 辆	误检率 / %	漏检车辆 / 辆	漏检率 / %	正确检测 / 辆	正确率 / %
左边车道	74	9	12.2	3	4.1	62	83.7
中间车道	187	17	9.1	6	3.2	164	87.7
右边车道	169	12	7.1	5	2.9	152	90.0
合计	430	38	8.8	14	3.3	378	87.9

3 结语

本文基于视频虚拟检测线，改进了背景差方法，提出了抑制车辆阴影边缘的算法和车辆检测信号形成的方法，实现了交通流参数检测。通过对现场采集的视频流进行实验，

(下转第69页)