

文章编号:1004-9037(2012)06-0696-07

快速公交专用车道上非公交车辆抓拍系统

顾占冰 陶海涛 潘 燕 张银霞

(合肥工业大学计算机与信息学院,合肥,230009)

摘要:非公交车侵占专用公交车道违章行为频繁出现,严重影响交通效率。通过车载摄像头采集图像,以TMS320DM6437为核心处理器,使用C代码优化及混合编程、存储空间优化等方法,对车道线和车辆进行检测与识别,实现对专用车道内非公交车辆抓拍。实验结果显示,该算法正确率约为83%,平均处理速度为22.5帧/s,对白天多种环境能满足实时准确的要求。

关键词:车辆检测;车道识别;霍夫变换

中图分类号:TP391.4

文献标识码:A

Image Snapshot System of Non-bus on Rapid Bus Lane

Gu Zhanbing, Tao Haitao, Pan Yan, Zhang Yinxia

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei, 230009, China)

Abstract: Bus rapid transit road occupied by non-bus largely hinder the efficiency of the transportation system. Two cameras are placed in front of the bus to get videos. These videos are processed on DSP TMS320DM6437 by optimizing C code, storage space and hybrid programming. Therefore, road detecting and tracking is achieved by catching images of non-bus traveling on bus rapid transit road. The accuracy rate is 83%, average processing speed is 22.5 frame/s. The system meets the requirement for real-time and accuracy in complex environments of daytime.

Key words: vehicle detection; bus road identification; Hough transform

引 言

智能交通系统(Intelligent transportation system, ITS)在当今社会已变得越来越重要,它以计算机视觉技术为基础,将人、车、路有机地结合起来,以达到整个交通系统的最优化,从而建立起一种实时、准确、高效的交通运输综合管理系统。

随着国内车辆日益增多,交通安全问题日趋凸显,增加的车辆对环境和交通状况影响也很明显。许多城市提出使用快速公交来解决和缓解这些问题,但是有很多非公交车辆占用专用车道,不但减慢了公交车速度,而且也会影响交通安全、环境污染和人们的出行时间。社会车辆侵占行驶在快速公交(Bus rapid transit, BRT)专用车道和公交站点等违章行为的频繁出现,严重影响了公共交通的效率乃至整个交通系统的通畅。采用人工执法或固定式电子警察监控系统,存在着工作量大,采集证据

难等问题;另一方面道路的拥挤度对于交通状况的监控和公交车辆调度有着重要意义。通过传统的固定点监控方式由于其本身存在的缺陷难以解决上述问题,车载式公交专用道监控系统可以较好地解决上述问题。

快速公交专用车道抓拍系统通过公交车上安装摄像头和硬盘录像机,对前方车辆与道路进行检测,在公交专用车道内,前方车辆是非公交车的情况下启动硬盘录像机,进行抓拍。整个系统解决了违章占用公交专用道取证难、执法难的问题,使公交车专用道占用现象降低,从而可以充分发挥公交专用道的作用,提高公交车的运行速度,为市民的出行提供极大的方便。同时,还可以通过车载视频对道路的拥挤度进行实时检测,为交通管理部门提供道路信息,协助交通管理部门进行交通的调度。

目前,针对车道线和车辆检测有很多方法,简单的算法^[1,2]实时性较好,但是无法抑制图像中的干扰,而由于环境(光照、气候、建筑物及树等大面

积投影阴影等)等因素影响以及由于车辆和行人参加使得采集的视频不可避免存在大量的干扰,复杂的算法抗干扰能力较强,但算法的实时性通常不高,因此如何在提高算法的准确性同时保证算法的实时性,是本文的一个研究重点与难点。

本文研究的主要目的是通过基于 DSP 的快速公交车车载摄像头拍摄的视频图像进行分析与处理,研究快速公交车道的检测与跟踪和前方车辆的检测与识别算法,本文提出的基于感兴趣(Region of interest,ROI)区域的车道线检测算法与基于改进阴影的前方车辆检测算法,能较好地剔除非感兴趣目标,缩小检测区域,滤除图像的各种干扰,提高算法的实时性,同时突出图像的有用信息,准确地检测与识别目标,保证算法在满足准确性与鲁棒性

的前提下,确保抓拍系统能够及时地抓拍违规车辆。并将算法移植到 TMS320DM6437 嵌入式系统中,实现对快速公交车道路况信息进行实时、准确的采集、处理、判断和抓拍。

1 算法介绍

本文主要完成对车道线的检测、车道类型判别、车辆的检测,车辆类型的判别。对于车道线检测,首先对视频图像进行预处理,然后进行 Canny 边缘检测,接着利用 Hough 变换检测图像中的直线。对于前方车辆进行检测识别包括:车辆检测、识别车辆类型。本文算法最后移植到 DSP 目标板上,保证算法的实时性和排除背景干扰,公交车内使用两个车载摄像头。系统框架流程如图 1 所示。

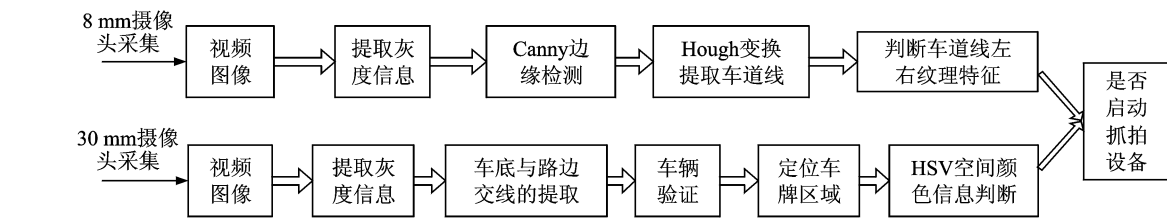


图 1 系统框架流程图

1.1 BRT 车道识别算法

实现 BRT 车道自动抓拍系统,首先需要判断当前车辆是否在快速公交车道内,对 BRT 车道识别算法主要分为两步。

首先,对城市道路拥有 BRT 车道的经纬度信息进行统计,建立道路数据库信息,文献[3]中提出的原理通过 GPS 采集车辆所在位置,判断其是否处在 BRT 车道范围内,见图 2 矩形区域;而后,由于 GPS 的精度受到限制,需要进一步检测当前车道位置,本文对车道线建立直线模型,采用的基于 ROI 区域实现车道线检测,并通过跟踪算法进一步提高算法的实时性;最后,通过对城市的道路情况调查得知,BRT 车道线颜色通常为黄色,且 BRT 车道的一边会有路肩、栏杆等信息量较为丰富的物体,本文通过对检测的车道线颜色,以及每

条车道线两边进行对比,判断是否具有路肩、栏杆等特征,从而实现 BRT 车道识别。

1.1.1 GPS 信号采集并解析

对于 GPS 信号的读取采用的是中断方式,避免查询等待的耗时问题。对串口接收到的 GPS 信号进行解析,对无效采集数据进行剔除,对有效采集数据进行解析,得到其经纬度,与建立的 BRT 车道范围进行比较对比,判断其是否在其范围内。

1.1.2 车道线检测与跟踪

预处理是对摄像头实时采集的图像进行前期处理,目的是为了加强图像的有用信息,抑制干扰,最终实现车道线检测与跟踪;图像预处理后在有效区域内,利用边缘检测的结果进行 Hough 变换,提出车道线信息,本文采用的是基于 ROI 区域的车道线检测算法,为了进一步提高算法的实时性,本文通过当前车道线位置预测其在下一帧车道位置,实现车道线跟踪。

(1)图像预处理

由于图像采集设备存在误差,车辆存在行进抖动,环境等因素的影响,必须消除或者减弱图像中这些干扰的影响,强化图像中的有用信息,抑制干

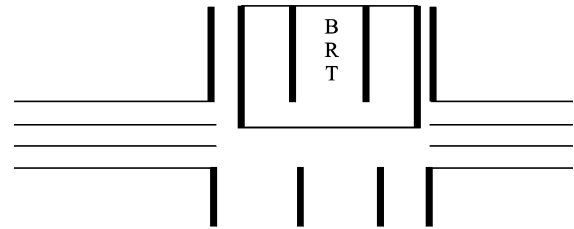


图 2 BRT 车道示意图

与无用背景信息,突出道路图像的目标特征,从根本上降低道路识别的复杂性,算法的流程见图 3。

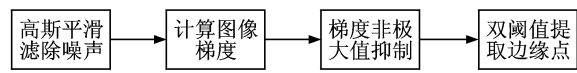


图 3 canny 边缘检测算法流程

(2)基于 Hough 变换的车道线检测

Hough 变换作为经典的直线检测算法^[4],具备较强的抗干扰能力,较高的准确性,然而较大的计算量是其算法的一个缺陷,难以实现车载设备的实时性要求,本文在传统算法的基础上进行改进,基于动态 ROI 区域进行检测,极大地缩小其检测的范围,提高算法的检测速度。

①传统 Hough 变换原理:建立车道线模型为直线的情况下,Hough 变换作为车道线检测的一个方法,广泛用于车道线识别领域,Hough 变换的表达式见式(1),Hough 坐标空间转换示意图见图 4。

$$\rho = x\cos\theta + y\sin\theta \tag{1}$$

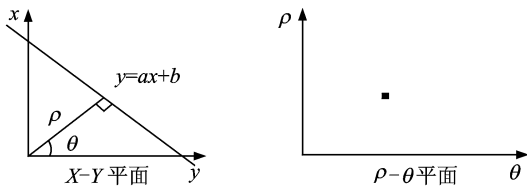


图 4 Hough 坐标空间转换示意图

②基于 ROI 区域改进的 Hough 变换的车道线检测。车道线一般分布在道路左右两边,本文对传统的 Hough 变换的应用进行改进^[5-6],限定其投票空间的范围,也就是通过限定 ρ, θ 来调整其投票空间的范围,限定其左右车道线的极角、极径范围,调节好摄像头。通过不断的测试,得到目标点的极角约束区域和极径约束区域,也就得到 ROI 区域,如图 5 所示,只检测落在白色区域内的车道线。

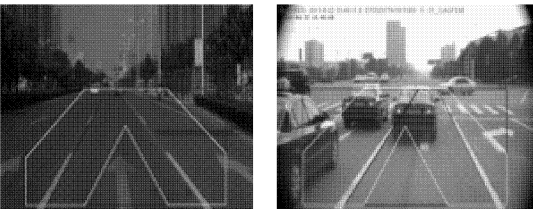
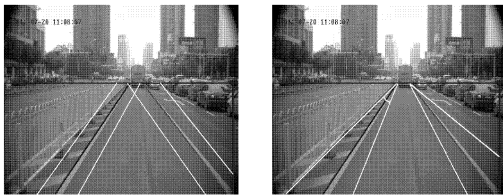


图 5 建立极角极径约束区域并检测车道线

③ROI 及车道线跟踪。跟踪主要包括 ROI 区域跟踪以及车道线的跟踪,ROI 区域的跟踪主要通过检测到的车道线位置适当地调节极角、极径范围从而调节 ROI 区域的范围。基于动态的 ROI 区

域检测车道线,可以有效地缩小检测范围,而不影响检测结果,并可以抑制其他非车道线的干扰。为了进一步提高算法的实时性,本文采用了车道线跟踪的方法,通过对车道线极径和极角的检测,预测下一帧的极径极角,限定其范围为 $\rho \pm \nabla \rho, \theta \pm \nabla \theta$ 。本文 $\nabla \rho = 30, \nabla \theta = 10$,从而进一步缩小检测范围,有效地提高检测速度。如图 6 所示,图片下方矩形框内为 ROI 区域,图 6(a,b)分别用极径和极角在 ROI 区域内将处理范围有效减小,极大地提高了处理速度。

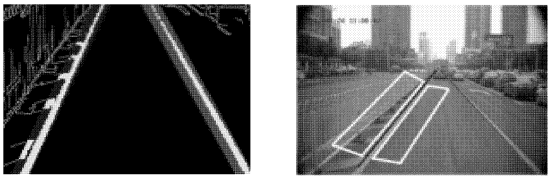


(a) 极径 (b) 极角

图 6 极径、极角跟踪范围(白线)

1.1.3 车道识别

统计调查结果表明,BRT 车道相对其他车道的特点是,其左右车道线都为黄色,一般位于路的两边,道路的两边有栏杆或者路牙等特征,基于此特点,本文实现了 BRT 车道的识别系统,结合 GPS 判断其所在位置范围内有无 BRT 车道,若有则建立颜色模型判断车道线颜色是否为黄色,对车道线上的每一点颜色进行标记,综合判断其左右车道线是否是黄色车道线,见图 7,当车道线上较亮色区域大于一定阈值时,判断其为 BRT 车道。



(a) 根据车道线颜色识别 (b) 根据车道线两边纹理特征识别

图 7 车道识别示意图

1.2 车辆检测与识别算法

1.2.1 车辆检测算法

(1)车辆假设区域生成

采用最大类间方差 Ostu 分割法^[6]对目标与背景对比度不明显分割效果差,露天图像复杂多变,此方法鲁棒性不好。沈晖等利用融合多特征的路面车辆检测方法^[7]采用图像均值和方差差值作为分割阈值,能较好地过滤路面噪声干扰不明显的非感兴趣目标,实际图像可能会受到光强及大面积阴影干扰(建筑物及树等大面积投影),采用一次阈值分

割不能有效抑制干扰,而且增加了后续验证车辆的计算量。因此,本文提出基于改进的阴影检测方法,使用两次自适应阈值提取车底阴影,鲁棒性好。

根据均值方差公式计算灰度图像的均值与方差

$$\mu = \frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(x+m, y+n)$$
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [f(x+m, y+n) - \mu]^2} \quad (2)$$

式中: $f(x, y)$ 为灰度图像在 (x, y) 点处的亮度值; M, N 分别为图像的宽和高; μ_1, σ_1 分别为灰度图像均值和方差。第 1 次自适应阈值为

$$\text{Threshold}_1 = \mu_1 - \sigma_1/a \quad (3)$$

$$\text{Threshold}_2 = \mu_2 - \sigma_2/b \quad (4)$$

第 1 次阈值排除图像中高亮点的干扰。再对整幅灰度图像中统计低于 Threshold_1 的像素点,对低于 Threshold_1 的像素点利用均值方差公式计算均值 μ_2 和方差 σ_2 。

为适应复杂多变环境, a, b 参数取: $a = \mu_1/\sigma_1$, $b = \mu_2/\sigma_2$ 。 Threshold_2 能较好地分割灰度图像,提取车底阴影,最大限度地抑制噪声干扰。图 8 为建筑物及树的投影、邻车投影、强光情况下不同算法的分割效果。用 Ostu 分割法效果如图 8(b)所示,采用文献[7]分割效果如图 8(c)所示,采用本文分割法效果如图 8(d)所示。从图 8 看出,当外界有多干扰时,采用改进的阴影检测有效地抑制干扰,利于后续车底与路面交线边缘的提取。

车底阴影范围是块区域,同目标会生成多条阴

影线,为了提取车底阴影与路面的交线边缘,对沿 y 方向相邻阴影线进行合并。合并原则是,取上下线相比较后的最左端和最右端分别为合并后线段的左端和右端。按从上向下,当 y 方向上满足: $|y_1 - y_2| < 5$ 进行合并。实验结果分析,上下行相差 5 个像素能满足合并要求,合并过程中最终阴影线取近左和近右端点,上下线之间存在 4 种情况,如图 9 所示。

(2) 车辆假设区域验证

对称性测度是描述目标对称程度的统计量,在精确假设的车辆矩形框内用对称性验证车辆,根据熵值归一化的对称性测度值[8]排除虚假目标。文献[9]通过计算目标矩形水平中轴所在行的灰度对称性来验证目标,不准确;文献[10]中通过逐行计算目标区域的灰度对称性进行验证,计算量大。在减少耗时和提高准确度前提下,本文将假设矩形框其列方向上灰度均值视为横坐标的一维函数

$$g(x) = \sum_{y_{\text{start}}}^{y_{\text{end}}} \frac{f(x, y)}{y_{\text{end}} - y_{\text{start}}} \quad (5)$$

式中: y_{end} 为矩形框的底端像素坐标; y_{start} 为矩形框的顶端像素坐标;对称轴取矩形框竖直中轴 x_s ;宽度为矩形宽度 $w = x_{\text{end}} - x_{\text{start}}$,以 x_s 为纵轴的新坐标下, $g(x) = g(x_s + u)$ 的偶函数和奇函数分量分别为

$$E(u, x_s) = \frac{g(x_s + u) + g(x_s - u)}{2}$$
$$-\frac{w}{2} \leq u \leq \frac{w}{2}$$

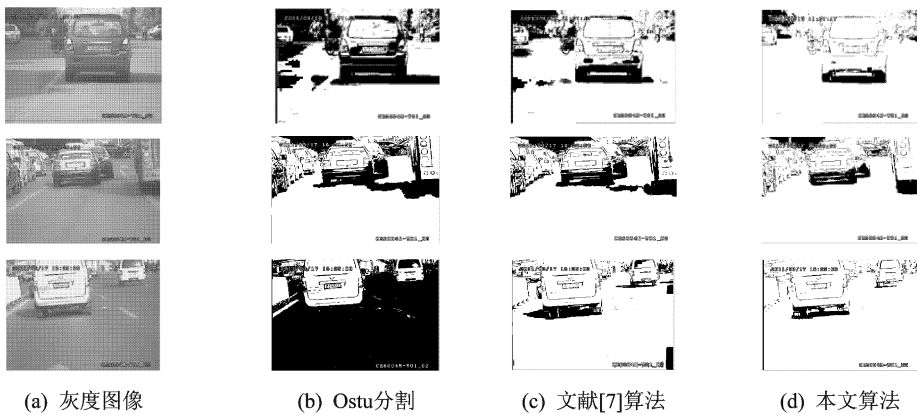


图 8 车底阴影分割图

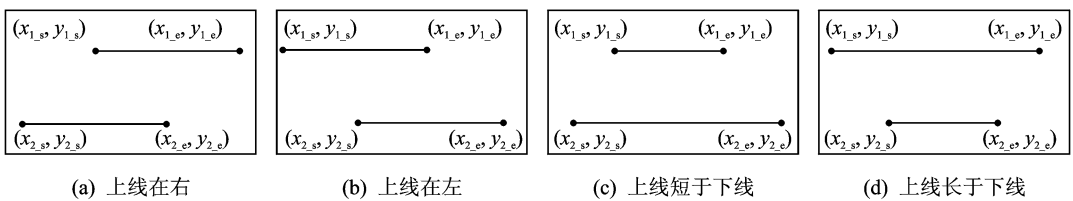


图 9 上下线段之间关系

$$O(u, x_s) = \frac{g(x_s + u) - g(x_s - u)}{2}$$
$$-\frac{w}{2} \leq u \leq \frac{w}{2} \tag{6}$$

奇函数分量 $O(u, x_s)$ 均值为 0, 偶函数分量 $E(u, x_s)$ 均值大于 0, 二者不能进行比较。因此对偶函数分量归一化, 保证其均值为 0, 则其偶函数分量为

$$\hat{E}(u, x_s) = E(u, x_s) - \frac{1}{w} \sum_{u=-w/2}^{w/2} E(u, x_s)$$
$$-\frac{w}{2} \leq u \leq \frac{w}{2} \tag{7}$$

目标矩形的对称度测量为

$$S(x_s) = \frac{\sum_{u=-w/2}^{w/2} \hat{E}^2(u, x_s) - \sum_{u=-w/2}^{w/2} O^2(u, x_s)}{\sum_{u=-w/2}^{w/2} \hat{E}^2(u, x_s) + \sum_{u=-w/2}^{w/2} O^2(u, x_s)} \tag{8}$$

$$I(l_i) = -\lg p(l_i) \tag{9}$$

$$E(l) = \sum_{i=1}^n p(l_i) I(l_i) = -\sum_{i=1}^n p(l_i) \lg p(l_i) \tag{10}$$

式中: I 为信息量, E 为信息熵, 图像区域信息熵越大, 其信息量越丰富。对于灰度图像 $E(l)$ 取值范围为 $[0, 5.546]$, E_m 为灰度图像信息熵最大值。根据车辆对称性和图像复杂性特点, 根据熵值归一化的对称性测度排除虚假目标, 定义为

$$\overline{s_g} = \left[\frac{S(x_s) + 1}{2} + \frac{E(l)}{E_m} \right] / 2 =$$
$$\frac{S(x_s) \times E_m + 2 \times E(l) + E_m}{4 \times E_m} \tag{11}$$

若 $\overline{s_g} > 0.7$ 时, 目标为车辆, 对称性验证能有效排除非车辆影响, 利于后续有效判断车牌的位置, 车辆假设区域与生成如图 10 所示, 图 11 表示对图 10(c)检测到的车辆进行目标验证的结果。

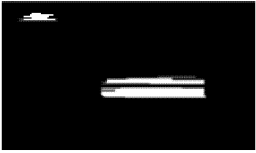
1.2.2 车辆识别算法

(1) 车牌定位

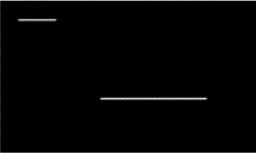
车辆检测到的矩形框内包含车牌区域。首先对车辆区域的中间部分用 Sobel 垂直边缘检测算法检测出车辆垂直边缘, 如图 12 所示。接着利用车辆的垂直方向积分投影, 见图 12(b), 投影结果最大值所在的行值为车牌中心位置, 根据常规车牌宽高比 3 : 1 确定车牌宽度。对图 12(a)边缘检测, 统计模板内白点最多的位置就定位车牌区域。

(2) 车辆识别

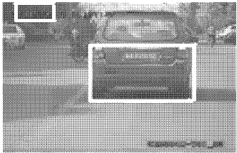
车牌的颜色可以识别出车辆的类型。针对本项目, 公交车的车牌都为黄色, 可以根据车牌的颜色判断是不是非公交车。对提取的车牌区域, 将采集的 YUV 格式转化到 RGB 空间, 再由 RGB 空间转化到 HSV 空间, 依据黄色特征信息, 判断黄色点,



(a) 阴影线提取



(b) 车底阴影与路面交线



(c) 车辆假设区域

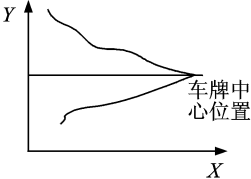
图 10 车辆假设区域的生成



图 11 车辆验证



(a) 垂直Sobel边缘检测



(b) 垂直积分投影示意图



(c) 提取车牌区域

图 12 车牌定位

计算黄色点数判断黄色点数占车牌区域的比例是不是小于 10%; 接着, 判断是不是连续的 20 帧都

满足黄点数占车牌区域的比例小于 10%,若满足这两个条件,就认为是非公交车。

2 算法在 DSP 上的实现

2.1 DSP 平台的选择

DSP 处理器采用哈佛结构、流水线操作,还具有专门的硬件乘法器,可以有效快速地完成数字信号处理中的各种算法。

本文采用的 DSP 系统是基于 TMS320DM6437 芯片的嵌入式系统,该系统主要由 TMS320DM6437 处理器和系统外设组成。TMS320DM6437 处理器采用达芬奇处理器系列,其主频达到 600 MHz 的 32 位定点运算,内部具有超长指令集(Very long instruction word, VLIW)架构的 C64x+ 为内核,集成视频处理子系统 VPSS 和编解码处理器等模块,低成本、高性能的优点适合数字音视频的应用开发。本文的系统以 TMS320DM6437 处理器为核心,还包括存储器、VPFE 和 VPBE 接口、通用异步收发传输器(Universal asynchronous receiver/transmitter, UART)、电源电路、模数转换电路等外部设备共同完成视频图像编解码、视频分析处理和模块控制等功能。

2.2 算法在 DSP 上的实现难点与优化方案

2.2.1 算法在 DSP 实现难点

公交车车载摄像头采集的道路图像视频序列信息过程中,为了保证算法精度并不影响算法的实时性,本文采用的图像序列为 D1 标清图像,大小为 720 像素×576 像素,处理过程中图像的数据量较大,TMS320DM6437 存储器包含一级 32 KB RAM/Cache 可配置的程序存储器(L_1P)和 48 KB RAM+32 KB RAM/Cache 可配置的数据存储器

(L_1D);二级存储器是 128 KB RAM/Cache 可配置的二级程序或数据存储器 L_2 ,CPU 对内部存储器的访问速度以 L_1 , L_2 , DDR₂ 依次递减,因此如何分配 TMS320DM6437 的存储空间是本文的一个难点。

2.2.2 优化方案

针对相应的 DSP 平台优化设计已编的 C 语言程序,是增强处理器性能的重要手段,可以大大提高程序的运行效率,充分挖掘硬件资源的潜能,达到最优的运行效果。结合 DSP 的硬件结构,通过不同层次的软件优化策略才能提高代码的效率,从而确保算法的实时性。本文使用的优化方法如下: C 代码级优化;编译器选项优化;尽量少使用函数调用;编写汇编代码;合理分配数据存储空间, TMS320DM6437 包含两级基于缓存的内部存储器 L_1 , L_2 和 1 个外部存储器 DDR。CPU 对 L_1 , L_2 的访问速度是依次递减的,而 DDR₂ 访问速度最慢,因此为了提高运算速度应尽可能地将数据分配在 L_1 中,但 L_1 空间极其有限,这就需要合理分配数据存储空间。 L_1 中可以暂时存放需要频繁使用的数据,对不经常使用或很少使用的数据,可以放在 L_2 或 DDR₂ 中。

3 性能与结果

测试中用到的视频图像是在合肥市区一环内用一台 8 mm(靠近左边后视镜,水平放置,离路面 1.2 m)和一台 30 mm(离路面 1.2 m,与水平方向夹角约为 10°) CCD 摄像头采集视频图像,图像大小为 720 像素×576 像素,采样频率 25 帧/s,拍摄范围为 10~60 m。为验证本文算法性能,对白天不同情况下利用本文算法进行处理分析。实验平台在以主频达到 600 MHz 的 TMS320DM6437 处理器上实现。图 13(a,b)是同一辆车不同摄像头抓拍的

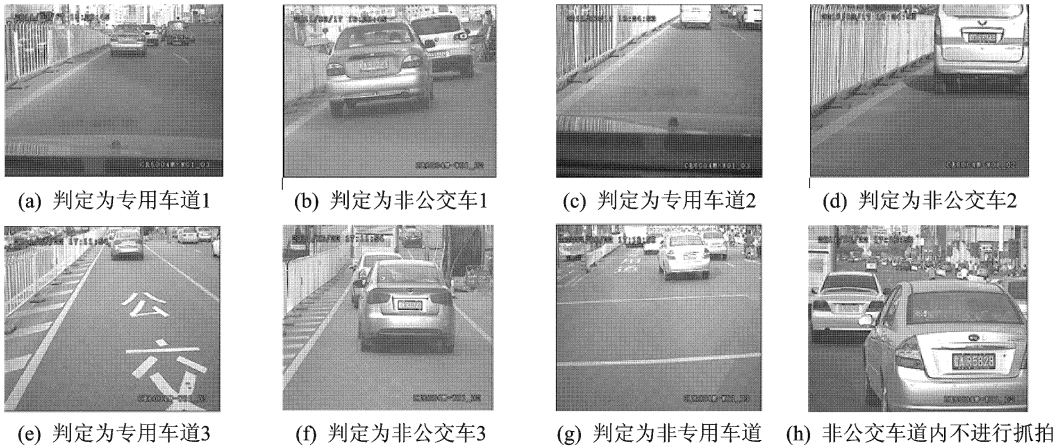


图 13 测试结果

测试图,图 13(a)是 8 mm 摄像头采集的图像使用车道线检测与识别算法,图 13(b)是使用 30 mm 摄像头采集的图像使用车辆检测与识别算法,当符合在 BRT 车道内,前方车辆是非公交车就启动抓拍模块,两路摄像头采集的图片同时保存到 3 GB 硬盘录像机中。其中图 13(c,d)是另一辆车用不同摄像头抓拍的违规车辆图,此状态下光线比较强。图 13(e~h)分别是一对违章车辆的抓拍图,图 13(g,h)两幅图像,其前方车辆正要在十字路口从另一条道变换到公交专用车道内被抓拍到的一组图片。

白天不同时间段采集的视频图像序列,使用本文算法实现的抓拍测试结果的正确率进行统计,如表 1 所示。

表 1 两段视频对抓拍车辆测试统计					
视频帧数/帧	车辆总数/辆	公交车/辆	非公交车/辆	抓拍车辆/辆	正确率/%
124 670	53	40	13	11	88.6
237 481	123	81	42	37	88.1

4 结束语

本文对基于 TMS320DM6437 的公交车载视频的前方车道线和车辆检测与识别做了系统的研究,包括项目来源、研究背景、算法的详细介绍及优化方法、DSP 硬件平台的选择和测试结果分析。算法主要介绍了基于 ROI 区域的车道线检测方法和公交专用车道识别方法,以及一种基于改进阴影的前方运动车辆检测和基于车牌颜色信息识别车辆,在保证其准确性和鲁棒性的前提下,基于 TMS320DM6437 开发平台对算法进行优化,优化后能满足实时性的要求。

参考文献:

[1] Andrew H S L, Nelson H C, Yung L. Detection by orientation and length discrimination [J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics-Part B: Ctbernetics, 2000,30(4):539-548.

[2] 周红娟. 基于红外图像道路识别与道路跟踪[D]. 南京理工大学,2004.

Zhou Hongjuan. Lane idenfication and track based on infraned image[D]. Nanjing University of Science and Technology, 2004.

[3] 刘化胜. 智能车辆视觉导航中道路检测算法的研究[D]. 南京航空航天大学,2004.

Liu Huasheng. Research on lane detection algorithm for intelligent vehicles vision navigation system[D]. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2004.

[4] 田炳香,郑榜贵,吴晴,等. 高速公路车道线检测与跟踪算法研究[J]. 现代电子技术,2008,31(9):180-183.

Tian Bingxiang, Zheng Banggui, Wu Qing. Research on lane detection and tracking algorithm of highway[J]. Modern Electronics Technique, 2008, 31(9):180-183.

[5] 梁金明,魏正曦. Ostu 算法的改进研究[J]. 四川理工学院学报:自然科学版,2010,5:543-545.

Liang Jinming, Wei Zhengxi. Research on improvement of the ostu algorithm[J]. Journal of Sichuan University of Science & Engineering (Natural Science Edition), 2010,5:543-545.

[6] 赵颖,王书茂,陈兵旗. 基于改进 Hough 变换的公路车道线快速检测算法[J]. 中国农业大学学报,2006,3:104-108.

Zhao Ying, Wang Shumao, Chen Bingqi. Fast detection of lines on highway based on improved Hough transform[J]. Journal of China Agricultural University, 2006,3:104-108.

[7] 沈岍,李舜酩,柏方超,等. 融合多种特征的路面车辆检测方法[J]. 光电子·激光,2010(1):74-77.

Shen Huan, Li Shunming, Bo Fangchao. Onrood vehicles detection approach using multi-cues fuses[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2010(1):74-77.

[8] 史忠科,曹力. 交通图像检测与分析[M]. 北京:科学出版社,2007:212-215.

Shi Zhongke, Cao Li. Traffic image detection and analysis[M]. Beijing: Science Press, 2007:212-215.

[9] 皮燕妮,史忠科,黄金. 智能车中基于单目视觉的前车检测和跟踪[J]. 计算机应用,2005,25(1):220-223.

Pi Yanni, Shi Zhongke, Huang Jin. Preceding car detection and tracking based on the monocular vision [J]. Journal of Computer Applictions, 2005,25(1): 220-223.

[10] Narendran S, J. Eliot B. Moss: fast copying GC with less space overhead[C]//OOPSLA'03. Anaheim, California, USA: [s. n.], 2003:685-696.

作者简介:顾占冰(1984-),男,硕士研究生,研究方向:信号与信息处理,E-mail: guzhanbinga@163.com;陶海涛(1988-),男,硕士研究生,研究方向:信号与信息处理;潘燕(1988-),女,硕士研究生,研究方向:信号与信息处理;张银霞(1988-),女,硕士研究生,研究方向:信号与信息处理。