

从高空摄像中获取车辆瞬态信息和驾驶行为

杨建国, 刘勇, 贾凡

(西安交通大学电气工程学院, 710049, 西安)

摘要: 针对交通冲突中车辆的避碰过程无法量化的问题, 提出了基于全信息匹配的视频分析法. 其核心是利用图像处理方法获得车辆的精确位置, 并据此计算出车辆的速度、加速度、航向角、前轮转向角等瞬态信息, 进而估算出驾驶人的变速和转向动作. 这些测量是在驾驶人无察觉的情况下进行的. 利用全信息匹配算法以及亚像素估计等算法, 解决了因阳光阴影带来的轮廓边缘变化导致的位置偏移, 以及摄像机像素不够的问题, 实现了 0.1 像素级别的车辆位置精确求解. 用经过校准的透射变换, 消除了拍摄角度对结果的影响. 在实验场地, 对受试车辆进行了变速和转向实验, 结果表明通过高空拍摄图像分析得到的驾驶人动作与实际记录的驾驶人动作完全吻合, 且能发现人工没有记录但驾驶人确实承认的轻微转向动作.

关键词: 交通冲突; 图像处理; 全信息匹配; 亚像素估计

中图分类号: U491 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2009)04-0116-05

Obtaining Transient Information of Vehicles and Behaviors of Drivers from High-Altitude Photography

YANG Jianguo, LIU Yong, JIA Fan

(School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A method called video analysis based on full information matching (FIM) is proposed to quantify the dynamic process of vehicles in avoiding collisions in traffic conflicts. The key point of the method is to obtain the exact position of the designated vehicle, and to calculate the transient information of the vehicle including its velocity, acceleration, course angles and front-wheel steering angle. Then the actions of the driver can be estimated, such as accelerating, decelerating, and swerving. All these measurements are taken without the drivers' awareness. Full information matching and sub-pixel estimation are used to eliminate the influence of vehicle contour changes on precision of vehicle positioning which are caused by the change of vehicle's shadow. Also the problem of camera's low pixels is solved by using these methods. The precision of vehicle positioning can be up to 0.1 pixel. An adjusted transmission transformation is used to eliminate the influence of shooting angle. A field experiment is carried out to obtain the driver's actions including shifting and swerving. It is proved that the driver's actions achieved by the analysis of high-altitude photography accord with the actual recording actions, and slight swervings that couldn't be observed or recorded artificially are caught as well.

Keywords: traffic conflict; image processing; full information matching; sub-pixel estimation

交通冲突从发生到结束, 在短短的几秒钟内经历了复杂的过程, 包括冲突的识别、冲突现状参量的求解、冲突避碰行为决策和实施等. 对这个瞬态过程

的准确描述和合理解释, 对于交通安全具有重要的意义, 但由于需要大量的冲突瞬态过程样本, 而获取这些样本是极其困难的, 所以至今尚未查到这方面

的研究成果.

一个完整的交通冲突瞬态过程样本,需要如下几方面的信息:①冲突双方车辆在几秒钟内连续的瞬态信息,包括车辆的位置、航向角、速度、加速度等;②冲突双方驾驶人的动作信息,即驾驶人在什么时候做了什么.

文献[1]对交通冲突研究的现状进行了分析,指出对冲突进行定量分析可以得到比定性分析更多的信息,同时对视频分析在交通冲突定量采集中的应用做出了期望.其后的研究者也在视频检测冲突方面进行了一系列工作^[2-4],但是他们的研究多数集中在道路监控中,没有研究冲突的定量检测.

本文提出了从高空摄像分析中获取车辆瞬态信息和驾驶人动作的新方法,首先从高层建筑物上实施隐蔽摄像,拍摄交通冲突中车辆运动的全过程,再利用图像处理手段,获得车辆的瞬态信息,然后从车辆的瞬态信息中提取出驾驶人的动作,很好地解决了现有方法难以获得上述信息的问题.

1 方 法

要实现上述思路,完成车辆的精准定位是最为关键的.影响车辆精准定位的因素主要有 3 个:①车辆轮廓受阳光阴影等影响而发生的改变,这将导致其物理质心变化;②摄像机分辨率不够;③建筑物高度不够带来的视角偏差.另外,摄像机的帧率是后期计算速度和加速度的重要参数,本文采用 25 帧/s 取单帧图片,帧间时差为 40 ms.

1.1 全信息匹配方法解决轮廓变化问题

在视频中实现对车辆的跟踪定位,传统方法一般采用轮廓匹配^[5].多数采用方框、矩形框进行匹配,也有学者利用不固定倾角的四边形进行匹配^[6].这种方法计算相对简单,跟踪效率很高,但也存在致

命的缺点,就是质心容易受到目标连通域轮廓改变的影响.

以一个静止车辆为例,图 1a 是车辆的第 1 帧图像,传统方法可以利用轮廓匹配得出其四边形轮廓.虽然车辆没有移动,但由于附近光线发生变化,导致第 2 帧车辆的前端(图 1b 的右侧)出现了边缘缺损,由此带来轮廓的改变,导致质心向左下方偏移.也就是说,如果车辆没有移动,但是由于外界光学环境改变,引起轮廓发生改变,就会得到车辆发生了移动的结果,这显然不正确.

全信息匹配将首帧固定,将次帧的图片在首帧上移动(旋转),每移动一次,都对 2 帧中的连通域进行全部信息的对比.当次帧图片的连通域与首帧的连通域发生最大程度的相似时,则认定匹配成功,此时如果次帧移动了 M ,就认定连通域在第 2 帧发生了一 M 的移动.

图 1 中,用第 2 帧和第 1 帧进行全信息匹配,图 1c 是最佳匹配点处的相似结果,图 1d 是匹配进程中第 2 帧右移了 1 个像素带来的匹配结果.利用全信息匹配,可以准确计算出这个物体在 2 帧图像中没有发生移动.

假设 $f=[f_R, f_G, f_B]^T$ 和 $h=[h_R, h_G, h_B]^T$ 是 2 个 RGB 颜色向量,则 f 与 h 之间的颜色相似度定义为^[4]

$$K_C = \lambda_R K_R + \lambda_B K_B \tag{1}$$

式中: $K_R = \frac{\langle f, h \rangle}{\|f\| \|h\|}$ 为色度饱和度相似系数,其权重 λ_R 取 0.85, $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 为内积运算; $K_B = 1 - \frac{|f_R - h_R| + |f_G - h_G| + |f_B - h_B|}{765}$ 为亮度相似系数,其权重 λ_B 取 0.15.

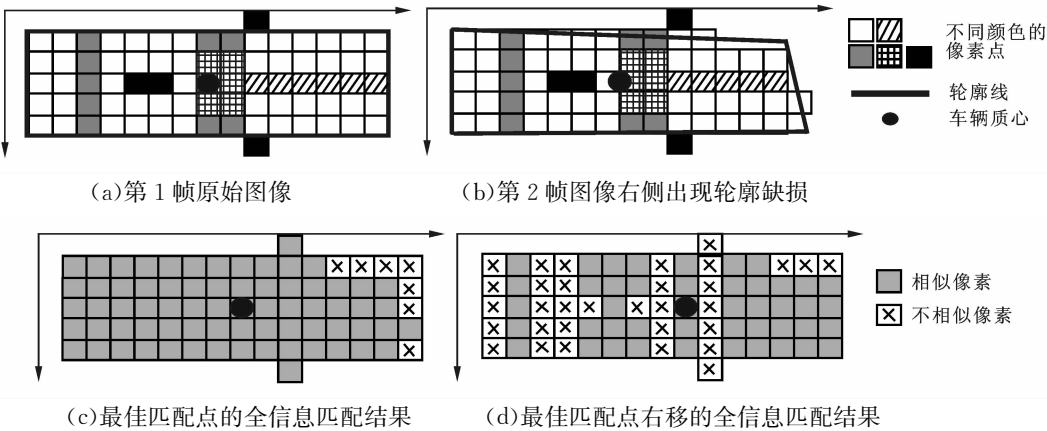


图 1 轮廓匹配和全信息匹配的对比实例

1.2 用亚像素估算解决摄像机分辨率不够问题

尽管全信息匹配可以实现较为精准的物体定位,但其定位结果是以单位像素为最小分辨的.本文使用的摄像机分辨率是 640×480 像素,拍摄区域一般为 60 m 左右,即一个像素大约代表场景中的 0.1 m. 对一个以 5 m/s 的速度移动的物体,每帧移动大约是 $5\text{ m/s}\times (1/25)\text{ s}=0.2\text{ m}$,也就是 2 个像素左右,以此计算帧间速度和加速度,分辨率是不够的.

亚像素位移计算最初是在数字散斑相关测量中应用的^[7],目的是在微小位移测量中获得亚像素级别的精确位移,所要求的精度一般要达到 0.01 像素级别.基本的亚像素匹配方法可以得到比较精确的匹配结果,但运算量很大,而且要消耗巨大的内存空间.本文选择了另一种常用的方法,即估算法.这种算法简单易行、速度很快,广泛应用于各种对亚像素匹配精度要求不高和对速度要求高的场合.本文所需精度在 0.1 像素级别,估算法可以满足要求.

常用的估算法有相关系数插值法、相关系数拟合合法以及基于图像梯度的方法等^[8-9].在插值法中,可以使用高斯插值也可以使用简化线性插值.本文使用简化插值计算亚像素位移,算法如图 2 所示.假设图中转折点两边的线段斜率互为相反数,则转折点对应的插值相似度最大,转折点的横坐标即为 x 方向亚像素匹配位置坐标估算值,图中所示约为 0.21 像素处.只要把这种算法扩展到二维即可得到 y 方向亚像素匹配坐标估算值.

我们用一个小车做实拍实验以验证使用亚像素估计算法对分辨率的提升效果.摄像机架在大约 7 m 的高处,垂直向下拍摄,下方一个光滑斜坡上释放一个大约 20 cm 长的小车,其速度变化应该是匀加速运动.分析结果表明,仅仅使用全信息匹配得出的速度变化如图 3a 所示,其中速度仅有 0.5 像素/帧的分辨率,不能满足要求,而使用了亚像素估计得出的速度变化,其连续性明显增强,可以满足后期计

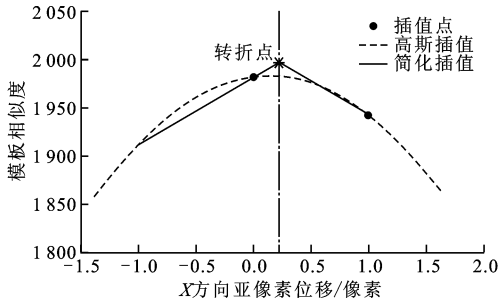
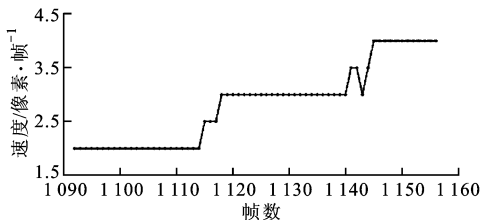
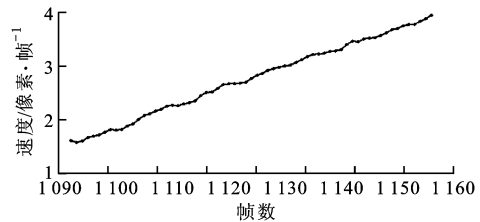


图 2 亚像素位移估算示意图

算加速度的要求,如图 3b 所示.



(a)直接处理



(b)使用亚像素估算

图 3 车斜坡下滑实验中直接处理和增加亚像素估算得到的小车速度

1.3 透射变换的实际操作

将拍摄到的画面通过透射变换转换为实地画面,作为本文进行后期计算的基础.文献[10]对此进行了详述.

采用 Google EarthTM 高空摄像为假设的标准俯视图,以图 4 所示的十字交叉线为坐标轴,对于画面上的某一点 $p(x,y)$,变换到实地坐标为 $p'(x',y')$,则有^[10]

$$\left. \begin{aligned} x' &= \frac{x}{t_d} \\ y' &= \frac{yt_{22}}{t_d} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中: $t_d=yt_{23}+t_{33}$, t_{22} 、 t_{23} 、 t_{33} 为转换公式中的待定参数.

以 GoogleEarthTM 测量获得的样点位置,直接计算获得式(2)中需要的 3 个参数 t_{22} 、 t_{23} 、 t_{33} ,但由于 GoogleEarthTM 拍摄的图片并不能保证拍摄点恰好处于本图中心的正上方,其结果也是有偏差的,需要对这些参数进行修正.修正的方法是,选取图 4 中 3 个有显著特点的线段 1、2、3,实地精确测量其长度,以长度计算为基准,手工调整 t_{22} 、 t_{23} 、 t_{33} ,直至其误差在 1% 以内.

表 1 是几种方法对 3 个线段的测量结果.需要说明的是,在不同的场景拍摄中,每次都需要进行参数的重新修正.

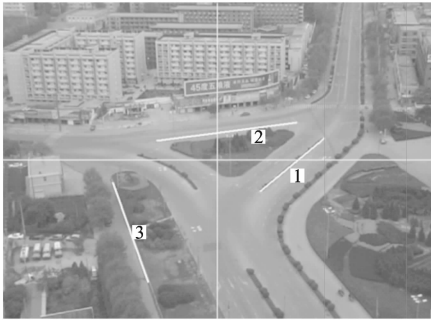


图 4 从西安市南二环某高层建筑上拍摄的兴庆南路和友谊路交叉口

表 1 实地测量的线段长度与不同算法得到的结果对比

线段 编号	线段长度/m			
	实地 测量	GoogleEarth TM 测量	透视变换 计算	修正的透视 变换计算
1	60	58.88	63.89	60.16
2	65.2	61.56	66.54	65.06
3	82.2	73.26	76.05	81.62

2 实 验

确定一个合适的场地,附近有高层建筑物,道路较为空旷,有协助者保证道路安全.一台轿车由驾驶人操纵,在指定路线上做出不同的动作,由副驾驶作为记录人记录.此时,高空的摄像机拍摄下车辆运行的全过程.

2.1 变速实验

变速实验中驾驶人进行了 3 个实验,分别是在规定区间实施:① 匀速中突然刹车(A 区间);② 低速时突然加速(B 区间);③ 匀速时突然松开油门(C

区间).图 5 是对高空摄像实施本文算法后得到的车辆速度变化曲线,分别对应于上述 3 个实验.

表 2 为变速实验中记录员记录结果与对高空拍摄分析结果的比较.由表 2 可以看出,采用本文方法获得的结果与驾驶人的实际动作基本一致.

表 2 变速实验中记录员记录结果与对高空拍摄分析结果的比较

实验 项目	记录员 记录	计算加速度 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	分析的动作	一致性判断
A	紧急刹车	-4.27	紧急刹车	完全一致
B	全力加速	1.82	较大加速	较一致
C	松开油门	-0.76	轻微减速	完全一致

2.2 转向实验

实验场景和分析结果如图 6 所示.图 6b 显示,车辆在开始行进中有一段直行,然后有一个明显的右转动作,发生在第 67 帧~77 帧附近,其后驾驶人才采取了左转动作,实施了转向.记录者只记录了左传动作,却没有发现驾驶人瞬间的右转动作.这个短暂的动作被研究分析的结果发现,事后观察和询问表明,驾驶人确实有这个习惯,他在实施左转前,为了给车辆左侧留出足够的空间,习惯性地采取了短暂的右转行为.实验结果表明,哪怕驾驶人细微的转向动作,也可以被高空拍摄的录像记录并被本文算法精确识别.

3 结束语

通过高空拍摄并利用图像处理方法获取车辆的瞬态状态,包括位置、速度、加速度、航向角,进而分

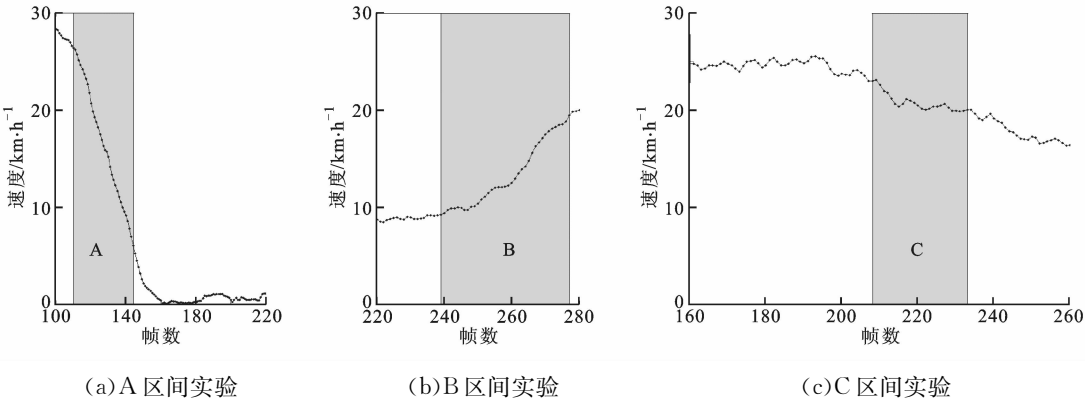
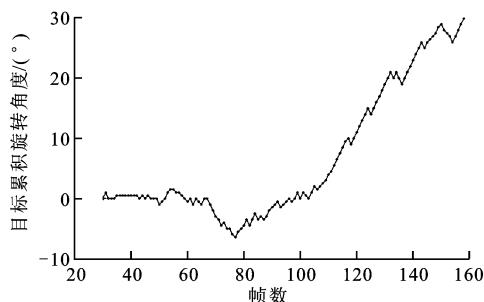


图 5 从高空摄像中计算获取的 3 个实验车辆速度变化曲线



(a) 车辆初始位置和行驶路线



(b) 从高空摄像中分析得到的车辆航向角变化曲线

图6 转向实验

析获得驾驶人的动作,包括加速、减速、变向等,可以为交通冲突的瞬态过程分析提供有力的帮助.本文采用全息匹配、亚像素估计和合理的透射变换,较好地实现了上述工作.本文方法已经应用于现场冲突样本的提取.

参考文献:

- [1] CHIN H C, QUEK S T. Measurement of traffic conflicts [J]. Safety Science, 1997, 26(3): 169-185.
- [2] COIFMAN B, BEYMER D, MCLAUCHLAN P, et al. A real-time computer vision system for vehicle tracking and traffic surveillance [J]. Transportation Research: Part C, 1998, 6(4): 271-278.
- [3] HAN Xiaowei, LI Yanping, LI Junsheng, et al. An approach of color object searching for vision system of soccer robot [C] // Proceedings of the IEEE Interna-

tional Conference on Robotics and Biomimetics, Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2004: 535-539.

- [4] WAKABAYASHI H, RENGE K. Vehicle tracking system using digital VCR and ITS application to traffic conflict analysis for ITS-assist traffic safety [C] // Proceedings of the 13th Mini-EURO Conference on Handling Uncertainty in the Analysis of Traffic and Transportation Systems. Bari, Italy: Euro Working Group on Urban Traffic and Transportation, 2002: 356-362.
- [5] 杨建国,尹旭全,方丽,等. 基于自适应轮廓匹配的視頻車輛檢測和跟蹤[J]. 西安交通大學學報, 2005, 39(4): 351-355.
YANG Jianguo, YIN Xuquan, FANG Li, et al. Moving vehicle detection and tracking based on video of self-adaptive contour matching [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2005, 39(4): 351-355.
- [6] 李健. 基於視頻的機動車衝突檢測初步研究[D]. 西安: 西安交通大學電氣工程學院, 2006.
- [7] 金觀昌. 計算機輔助光學測量[M]. 北京: 清華大學出版社, 1997: 143-147.
- [8] 郭榮鑫, 楊邦成, 蔡光程, 等. 亞像素位移插值計算方法的比較分析[J]. 昆明理工大學學報(理工版), 2005, 30(2): 55-59.
GUO Rongxin, YANG Bangcheng, CAI Guangchen, et al. Comparative analysis of the subpixel displacement calculation methods in the digital speckle measurement [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology, 2005, 30(2): 55-59.
- [9] 孟利波, 馬少鵬, 金觀昌. 數字散斑相關測量中亞像素位移測量方法的比較[J]. 實驗力學, 2003, 18(3): 343-348.
MENG Libo, MA Shaopeng, JIN Guanchang. On the performance of the subpixel displacement estimations used in digital speckle correlation method [J]. Journal of Experimental Mechanics, 2003, 18(3): 343-348.
- [10] 賈凡. 基於視頻目標精確跟蹤的交通衝突檢測方法研究[D]. 西安: 西安交通大學電氣工程學院, 2008.

(編輯 劉楊)

【本刊相關文獻鏈接】

車輛單神經元模型參考自適應控制算法研究. 2007, 41(12): 1391-1395
基於視頻的車輛瞬時停車延誤檢測. 2007, 41(6): 692-696
多約束條件車輛路徑問題的二階段遺傳退火算法. 2005, 39(12): 1299-1302
自主車輛視覺系統的攝像機動態自標定算法. 2005, 39(10): 1072-1076
基於平方根 Unscented 卡爾曼濾波的車輛融合跟蹤. 2005, 39(6): 594-597