

基于视频处理的无信号交叉口 交通冲突自动判别方法

曲昭伟,李志慧,胡宏宇,郭伟伟,魏巍

(吉林大学 交通学院,长春 130022)

摘要:针对交通冲突传统人工判读方法的缺陷,提出了基于视频处理的无信号交叉口交通冲突自动判别方法。首先,利用运动检测与跟踪技术,提取出图像中的前景运动目标及其时空运动轨迹;其次,在获取物体运动数据与类别的基础上,判别物体的运动行为,结合经典冲突理论定义,提出交通冲突的两个判别条件,以此实现交叉口交通冲突的自动判别。通过对实际无信号交叉口视频图像处理的实验表明,本方法具有较好的应用性。

关键词:智能交通;视频处理;交通冲突;运动跟踪

中图分类号:U121;TP391 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2009)Sup. 2-0163-05

Traffic conflict automatic discrimination at non-signalized intersection based on video processing

QU Zhao-wei, LI Zhi-hui, HU Hong-yu, GUO Wei-wei, WEI Wei

(College of Transportation, Jilin University, Changchun, 130022)

Abstract: For the defects of traditional artificial recognition and record method of traffic conflict, traffic conflict automatic discrimination at non-signalized intersection based on video processing is presented in this paper. Firstly, foreground moving objects in the image and their spatial and temporal trajectories are extracted by motion detection and motion tracking; and then, the motion behaviors are obtained based on objects types and moving data. Traffic conflict can be discriminated in terms of two traffic conflict discrimination rules which are concluded combined with classic traffic conflict definition. Based on video processing captured from non-signalized intersection, the method is validated that it can be well applied in real-world.

Key words: intelligence transportation; video processing; traffic conflict; motion tracking

随着视频处理技术在智能交通领域的应用愈发广泛,其在交通冲突技术等方面的研究也开始引起关注。利用视频处理技术能够自动获取运动目标的运行轨迹及时空状态,同时结合交通冲突理论与方法自动识别、分析交通冲突。Wei-ming

Hu^[1]利用3D模型对车辆进行轨迹跟踪,并利用神经网络模型识别车辆的行为模式进而对交通事故进行预测;Stefan Atev^[2]利用视频系统对交叉口进行实时监控,并预测潜在冲突;Nicolas Saunier^[3]通过计算任意两个道路使用者的冲突

收稿日期:2009-03-12.

基金项目:“863”国家高技术研究发展计划项目(2009AA11Z210);国家自然科学基金项目(50808092);吉林省科技发展计划项目(20080432);吉林大学研究生创新基金项目(20091019).

作者简介:曲昭伟(1962-),男,副教授.研究方向:视频检测,交通控制. E-mail:quzw@jlu.edu.cn

概率实现交叉口的交通安全分析;张方方^[4]利用视频检测技术识别交叉口机动车之间的交通冲突。上述文献在利用视频技术进行冲突研究方面尽管取得了一些成果,但在算法复杂度、系统实用性等方面仍存在一定缺陷;同时,上述研究并没有充分考虑我国交叉口的混行状况,机动车、非机动车、行人共用道路资源,冲突较为严重。因此,利用视频处理方法研究、开发适应混合交通特性的交通冲突检测技术是十分必要的。

1 系统框架与前期处理

本文所研究的基于视频处理的交通冲突系统

有两部分构成:运动检测与跟踪,行为与冲突判别。其中运动目标的检测与跟踪处于整个系统的下层,该部分为后继的冲突判别提供运动物体的类别与运动参数,目标检测与跟踪的精度直接影响后续冲突判断的可靠性。目标检测与跟踪的过程主要包括:背景初始化、背景差分、运动分割以及运动跟踪等 4 个关键技术环节;行为与冲突判别位于系统的上层,它建立在目标检测和跟踪的基础之上,通过跟踪过程中提取的连续运动轨迹,计算相应物体的运行速度与运行方向,并结合冲突定义与物体类别,实现物体间交通冲突的有效判别。图 1 为本文研究的技术框架。

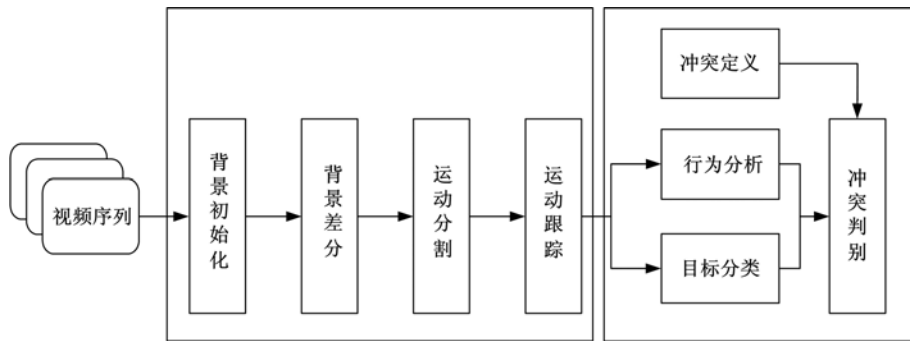


图 1 基于视频处理的交通冲突系统技术框架

Fig. 1 The technique framework of traffic conflict system based on video processing

在视频图像序列中,背景比较稳定,更加易于检测。如果能检测到背景图像,用当前图像与背景图像相减,就可提取出前景运动物体。本文采用基于聚类识别的背景初始化方法^[5]获取初始背景。在检测到背景图像之后,利用当前图像与背景图像相减,提取出前景图像,并采用运算简便的种子充填算法实现前景运动目标的快速分割。在提取出分割物体后,本文采用基于扩展后的 Kalman 滤波跟踪算法实现运动目标的有效跟踪,以获取运动目标的运动状态。在跟踪过程中,为提高算法精度,将运动目标重心、面积特征相融

合作为匹配特征,从而实现连续时间序列上的运动目标准确跟踪。运用上述跟踪算法能够实时获取运动目标每帧的重心位置,并通过连续两帧数据计算得到目标的运动速度及方向。图 2 是运动目标跟踪轨迹的效果。

2 基于视频的交通冲突判别方法

2.1 交通冲突定义

针对平面交叉口而言,在一定的时间间隔内,两个或多个道路使用者相继驶入交叉口,此时如果各使用者均不改变其运动状态,就会发生碰撞,若任一使用者通过转换方向、改变速度等措施改变运动状态,避免事故产生,这时就发生了一个交通冲突^[6]。本文根据上述定义自动判别是否发生交通冲突。

2.2 交通冲突类别

按照研究目的和原则有多种冲突类别分类方式。本文按照冲突对象的属性进行分类,将平面交叉口的交通冲突划分为 5 类:①机动车-机动车冲突;②机动车-非机动车冲突;③机动车-行人冲

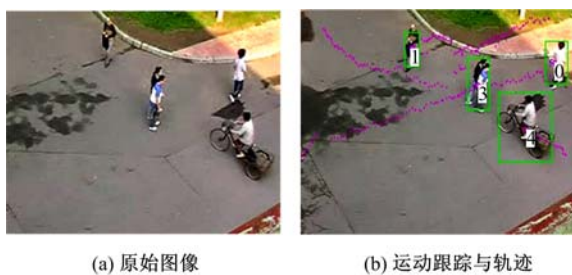


图 2 运动目标跟踪效果

Fig. 2 Moving targets tracking

突;④非机动车-非机动车冲突;⑤非机动车-行人冲突。因此,在运动跟踪的过程中,需要对检测出来的运动目标进行类别划分。根据运动目标跟踪过程中获取的运动速度,结合文献[7]中提出的形态特征-偏心矩特征构建分类函数,利用离线学习获取分类阈值,将冲突对象划分为机动车、非机动车、行人,从而根据冲突对象实现冲突类型的有效判别。

2.3 交通冲突判别过程

根据上述交通冲突定义及类别,首先由运动目标识别判断冲突对象构成,确定冲突类别,然后通过判断是否满足下述两个基本条件。

(1)冲突双方按现有运动状态运行将会在交叉口内发生碰撞;

(2)至少一个冲突对象为躲避事故发生,有改变运动状态的行为。

若同时满足上面两个判别条件,即发生交通冲突。为了实现上述基本条件的自动判别,在交叉口设置冲突检测区域,当运动目标进入该区域时,自动记录运动目标的运行轨迹。由于运动目标运动行为的复杂性与随机性,一个时间段内的运动不能简单近似地用直线运动来表示。因此本文引入GM(1,1)灰色模型实现运动目标轨迹的预测,从而判断其在未来一段时间内是否可能与其他物体发生碰撞。该模型通过对历史数据进行处理,对系统未来状态作出的定量估计,能够较好地实现系统非线性状态下的预测问题。

设原始数据序列 U_0 有 n 个观测值^[8]:

$$U_0 = [u_0(1), u_0(2), u_0(3), \dots, u_0(n)] \quad (1)$$

通过累加可以生成新序列为

$$U_1 = [u_1(1), u_1(2), u_1(3), \dots, u_1(n)] \quad (2)$$

式(2)中, $u_1(k) = \sum_{i=1}^k u_0(i), (k = 1, 2, 3, \dots, n)$,

GM(1,1)模型相应的微分方程为

$$\frac{dU_1}{dt} + aU_1 = b \quad (3)$$

设 $\hat{a} = (a, b)^T$ 为待估参数序列,利用最小二乘法可得:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T U \quad (4)$$

其中, $U = \begin{bmatrix} u_0(2) \\ u_0(3) \\ \vdots \\ u_0(n) \end{bmatrix}$,

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[u_1(1) + u_1(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[u_1(2) + u_1(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[u_1(n-1) + u_1(n)] & 1 \end{bmatrix}, \text{在得到估}$$

计参数之后,求微分方程,即可得到下列预测模型:

$$\hat{u}_0(k+1) = [\beta - \alpha u_0(1)] e^{-\alpha(k-1)} \quad (5)$$

式中: $\alpha = \frac{a}{1 + 0.5a}; \beta = \frac{b}{1 + 0.5a}$ 。

依照上述推导模型,本文应用运动目标进入检测区后的前5个重心位置作为现有运动状态的特征值,在此特征状态基础上建立GM(1,1)模型,对目标的下一帧位置预测,当获取新的数据后,舍弃最前面的数据,利用最近的数据更新模型,从而实现运动目标的轨迹预测,并对预测轨迹进行存储。在获取可能冲突双方预测轨迹后,通过计算时间序列上的重心相对距离,判别发生碰撞的可能。即在未来某时刻 t ,如果 $D_t \leq D_{\text{threshold}}$, $D_t = |C_{1,t} - C_{2,t}|$,即表明两物体有可能发生碰撞。其中, $C_{1,t}, C_{2,t}$ 为两物体的重心, D_t 为 t 时刻两物体的重心距离, $D_{\text{threshold}}$ 为设定距离阈值:

$$D_{\text{threshold}} = \sqrt{\left(\frac{H_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{W_1}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{H_2}{2}\right)^2 + \left(\frac{W_2}{2}\right)^2} \quad (6)$$

式中: H_1, H_2 为潜在冲突双方分割矩形的长度; W_1, W_2 为潜在冲突双方分割矩形的宽度。

在预测运动目标按现有运动状态运行将会在交叉口内发生碰撞后,根据运动目标跟踪过程中获取的时空运动轨迹,判断是否发生变速或变向的行为。由于算法是对目标重心位置进行跟踪,图像的微扰有可能导致目标重心的不精确定位,单纯采用单帧采集数据具有不稳定性。因此在本文中,使用连续三帧的平均值确定一个重心采样,以提高数据的可靠性。假设某段连续帧内时间序列的目标重心为:

$\{(x_n, y_n), (x_{n+1}, y_{n+1}), (x_{n+2}, y_{n+2}), (x_{n+3}, y_{n+3}), (x_{n+4}, y_{n+4}), (x_{n+5}, y_{n+5}), \dots\}$ 这期间物体的

前两个采样点的重心可以表示为 $C_n = (\bar{X}_n, \bar{Y}_n)$, $C_{n+1} = (\bar{X}_{n+1}, \bar{Y}_{n+1})$, 其中:

$$\bar{X}_n = \frac{x_n + x_{n+1} + x_{n+2}}{3}, \bar{Y}_n = \frac{y_n + y_{n+1} + y_{n+2}}{3} \quad (7)$$

$$\bar{X}_{n+1} = \frac{x_{n+3} + x_{n+4} + x_{n+5}}{3},$$

$$\bar{Y}_{n+1} = \frac{y_{n+3} + y_{n+4} + y_{n+5}}{3} \quad (8)$$

则物体在该时间序列的第 2 个采样点的速度可以表示为

$$V_{n+1} = \frac{|C_{n+1} - C_n|}{\nabla t} \quad (9)$$

式中： ∇t 为采样间隔。物体在该时间序列第 2

个采样点的运动方向可以表示为

$$\eta_{n+1} = \frac{\bar{Y}_{n+1} - \bar{Y}_n}{\bar{X}_{n+1} - \bar{X}_n} \quad (10)$$

在采集运动目标的运行速度与运行方向后，依据与前一采样时刻的速度差 $|V_{n+1} - V_n|$ ，方向比 η_{n+1}/η_n 判断物体是否有变速、变向的行为，从而实现交通冲突的有效判别。

交通冲突判别过程主要环节如图 3 所示。

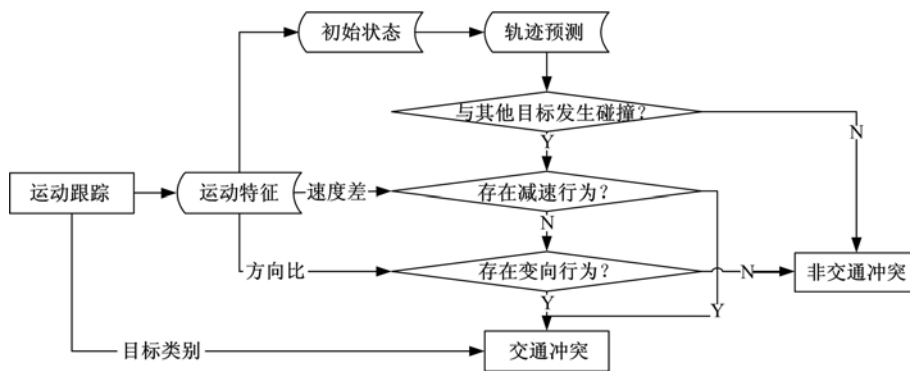


图 3 交通冲突判别流程

Fig. 3 The flow chart of traffic conflict discrimination

3 实例分析

采用实际拍摄的视频图像对提出的方法进行验证和分析。交通场景选在校园内某无信号混行交叉口，该交叉口无限速、缓行标志，车辆通过交叉口时速度较快。交叉口东北方向(图像正上方为北进口)地块种植了大量树木，使得驾驶者或行人由北进口、东进口进入该交叉口时，冲突方向的视线被遮挡，如不及时采取避险措施，容易造成交通事故。

图 4 为无信号交叉口机动车与自行车冲突过程示意图。其中红色矩形框为人工设定的冲突检测区域。当运动目标进入该区域时，系统自动记

录运动目标的进入时刻与目标类别。其中自行车进入检测区域的时刻为图像序列的第 793 帧，小汽车进入检测区域的时刻为第 829 帧。分别将进入检测区后的前 5 帧运动数据(重心位置、速度)作为初始状态，预测未来时段的行驶轨迹。其中蓝色轨迹为预测轨迹，红色轨迹是目标实际运行轨迹。经本文方法预测，在小汽车进入后第 17 帧，如果两物体不改变原有运动状态，则存在潜在事故的危险。图 5 为机动车进入冲突区域后，自行车与小汽车的时空运行轨迹。自行车的时空运行基本数据表明，在小汽车进入冲突区域后的第 7 个采样时刻，即视频序列第 847 帧~849 帧，自行车速度由原来的 2.23 像素/帧变为 1 像素/帧



(a) 潜在冲突双方轨迹预测(蓝色) (b) 自行车实际行驶轨迹(红色)

图 4 无信号交叉口机动车-自行车冲突

Fig. 4 The vehicle-bike Conflict at Non-signalized Intersection

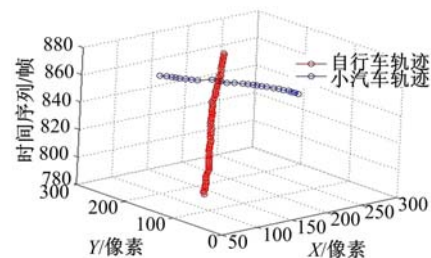


图 5 冲突过程机动车-自行车时空轨迹

Fig. 5 The spatial-temporal trajectories of vehicle and bike in the process of traffic conflict

(本文程序算法中设置变速阈值为 1 像素/帧),确定该物体存在减速行为,由此判断一个机动车-自行车冲突发生。

上述交通冲突观测过程由摄像机完成,判别及数据分析过程由软件自动完成,实现了实时观测、处理的高度自动化过程,而且效率高、精度高,有效避免了传统人工判别误差大、效率低,观测后需要花大量时间进行统计的弊端。

利用本文提出的基于视频的交通冲突自动判别技术能够自动检测无信号交叉口不同道路使用对象间的交通冲突。以此数据结合交叉口小时混合交通流量,能够计算交叉口的综合交通冲突率,从而科学、高效地评价交叉口交通安全水平。本文仅就冲突发生与否进行了自动判别,但是没有划分冲突的严重程度,后续工作将对冲突严重程度及划分指标进行深入研究,以提高判别的精度。

4 结束语

本文提出了基于视频处理的无信号交叉口交通冲突自动判别方法。通过对实际交叉口场景的视频序列处理表明,本文方法能够有效实现无信号交叉口不同道路使用者间交通冲突的判别。以此数据结合交叉口小时混合交通流量,能够计算交叉口的综合交通冲突率,从而科学、高效地评价的交叉口交通安全水平。由于运动跟踪算法直接在图像坐标系下进行,一定程度上降低了运动参数的精确度,在下一步工作将引入 2 维场景重建算法,从而计算物体的实际运动速度与方向,提高算法在实际应用中的可靠性。

参考文献:

- [1] Hu Wei-ming, Xiao Xue-juan, Xie Dan, et al. Traffic accident prediction using vehicle tracking and trajectory analysis[C]//IEEE Proceedings of Intelligent Transportation Systems, 2003:220-225.
- [2] Stefan Atev, Arumugam Hemanth, Masoud Osama, et al. A vision-based approach to collision prediction at traffic intersections[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(4):416-423.
- [3] Nicolas Saunier, Tarek Sayed, Clark Lim. Probabilistic collision prediction for vision-based automated road safety analysis[C]// Proceedings of the 2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, 2007, 9:872-878.
- [4] 张方方. 基于视频的平面交叉口机动车交通冲突检测技术研究[D]. 上海:同济大学,2008.
Zhang Fang-fang. Study on a computer vision system for detecting traffic conflict between vehicles at intersections[D]. Shanghai: Tongji University, 2008.
- [5] 李志慧, 张长海, 曲昭伟, 等. 交通流视频检测中背景初始化算法研究[J]. 吉林大学学报:工学版, 2008, 38(1), 148-151.
Li Zhi-hui, Zhang Chang-hai, Qu Zhao-wei, et al. Background initialization algorithm in traffic flow video detection[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2008, 38(1):148-151.
- [6] 刘小明, 任福田, 段海林. 平面交叉口交通冲突技术标准研究[J]. 北京工业大学学报, 1997, 23(3):43-50.
Liu Xiao-ming, Ren Fu-tian, Duan Hai-lin. Research on definition and estimation of traffic conflict at intersections[J]. Journal of Beijing University of Technology, 1997, 23(3):43-50.
- [7] 胡宏宇, 王殿海, 李志慧, 等. 基于视频的车辆特征表达与分类算法[J]. 交通与计算机, 2008, 26(6):1-5.
Hu Hong-yu, Wang Dian-hai, Li Zhi-hui, et al. Feature representation and classification algorithm of vehicle based on video[J]. Computer and Communications, 2008, 26(6):1-5.
- [8] 常好丽, 史忠科. 基于单目视觉的运动行人检测与跟踪方法[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(2), 55-59.
Chang Hao-li, Shi Zhong-ke. Method of moving pedestrian detection and tracking based on monocular vision technology[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(2):55-59.