

文章编号: 1002-0268 (2009) 05-0132-04

无信号控制平面交叉口交通 冲突预测模型研究

项乔君, 卢 川, 吴 群, 陆 键, 马永锋
(东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 以无信号控制平面交叉口为研究对象, 在交通流运行特征分析的基础上, 用泊松分布描述车辆的到达特性。通过相关假定, 指出机动车与机动车之间冲突发生的条件及冲突数的计算方法, 认为平交口内车辆之间的冲突是按照一定概率同时进入交叉口的车辆相互干扰的结果。运用概率统计的相关理论计算出在车辆横穿交叉口的时间 CT 内, 单进口道发生的冲突数, 进而计算出单进口道的小时冲突数及整个交叉口的小时冲突数。建立了冲突预测模型, 并利用实测数据对模型进行了验证。

关键词: 交通工程; 预测模型; 概率统计; 无信号控制平面交叉口

中图分类号: U491

文献标识码: A

Research on Traffic Conflict Prediction Model of Unsignalized Highway Intersection

XIANG Qiaojun, LU Chuan, WU Qun, LU Jian, MA Yongfeng

(School of Transportation, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract: Regarded unsignalized intersection as research object, Poisson distribution was introduced to describe the arrival characteristic of vehicle flow based on the analysis of traffic flow operation character. With some assumption, the forming conditions and calculation method of conflict between vehicles were pointed out. It is thought that traffic conflict occurs at a certain probability when two vehicles arrive at the same time. The number of traffic conflicts in single inlet during cross time was calculated with method of probability statistics, and for the number of conflicts in one hour of the inlet and the whole intersection were further extended. At last a traffic conflict prediction model was established and it was validated by observed data.

Key words: traffic engineering; prediction model; probability statistics; unsignalized intersection

0 引言

交通冲突技术 (Traffic Conflict Technique, TCT) 作为一种非事故的安全评价技术, 自上世纪 80 年代引入我国后, 得到了快速发展, 国内很多专家学者对此进行研究, 并取得了相应成果, 主要体现在: 交通冲突类型的划分、交通冲突技术在安全评价中的应用研究^[1-6]、交通冲突分析技术的标准化^[7]等方面。这些研究成果为交通冲突技术在我国推广应用奠定基础

的同时, 还存在以下突出问题如: 冲突类型的划分不尽合理; 对不同严重程度的冲突缺乏定量的界定标准; 冲突数据有效获得性差等, 其中冲突数据的有效获得是安全评价及其他工作的前提和基础。目前较多采用的人工观测法和录像观测法, 在冲突数据的获取时需要依据观测人员的主观判断, 由于不同观测人员对交通危险事件的感知不同, 往往造成采集到的冲突数据缺乏足够的一致性^[8], 基于以上分析, 文章提出建立基于交通流运行特征的冲突预测模型, 通过采集

收稿日期: 2008-04-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50522207)

作者简介: 项乔君 (1964-), 男, 湖北武汉人, 博士, 教授, 从事交通运输规划与管理、交通安全的研究。(xqj@seu.edu.cn)

车辆到达率等参数, 计算得到交叉口一定时间段内发生的冲突数, 避免了依靠观测人员自身感受对冲突进行判读的弊端, 提高了冲突数据获得的速度和一致性。

1 交通流运行特征的分析

现场观测发现, 平交口内机动车、非机动车、行人混行其中, 冲突多种多样, 且非机动车、行人到达交叉口较为随机, 造成的交通冲突多具有偶发性, 同时考虑到机动车与机动车之间的冲突比例最大, 潜在的危害结果最为严重, 文章仅对机动车与机动车之间的冲突进行研究, 交叉口不同进口道的交通流运行轨迹及冲突点的情况如图1所示。

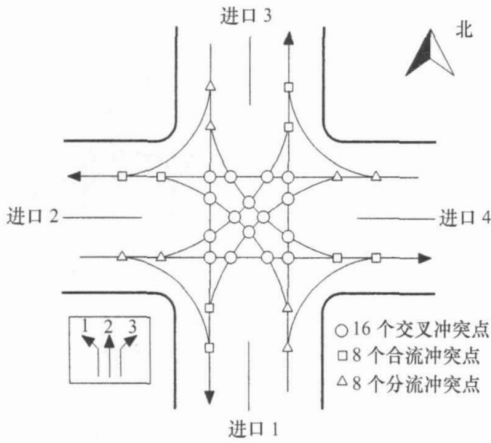


图1 无信号控制平面交叉口交通流运行轨迹及冲突点状况

Fig. 1 Traffic flow operation track and conflict points of unsignalized intersection

2 预测模型的建立

由于无信号交叉口的交通量通常不大, 车辆到达较少受到其他车辆的影响, 用泊松分布描述车辆的到达特性有着较高的合理性^[9], 在明确车辆到达特性的基础上, 为便于找出车流运行特征与交通冲突之间的关系, 还需做以下假定: 1) 在交叉口范围内, 无超车行为发生; 2) 在车辆横穿交叉口的时间 CT (cross time) 内, 如有2辆或以上车辆从不同进口道进入交叉口, 交通冲突就会按照交通流运行轨迹与冲突点的产生情况以一定的概率发生^[10]。根据上述假定, 按照泊松分布的公式, 在时间 t 内, 有 x 辆车到达的概率为^[9]:

$$p(x) = (mt)^x \exp(-mt) / x!, \quad (1)$$

式中, m 为车辆的平均到达率。

为便于分析, 将交叉口进口道定义为 i ($1 \sim 4$), 进口道上不同流向的交通流定义为 j ($1 \sim 3$, 分别表示左

转、直行、右转), 根据上述假定, 在 CT 时间内, 进口道 i 上第 j 种交通流中只有1辆车进入交叉口的概率为:

$$p_{ij} = m_{ij}CT \exp(-m_{ij}CT), \quad (2)$$

其中, m_{ij} 为 i 进口道上第 j 种交通流的流率; CT 为横穿时间。

用 $p_{1j}, p_{2j}, p_{3j}, p_{4j}$ 分别表示进口道 1、2、3、4 上的第 j 种交通流在 CT 时间内进入交叉口的概率, 由于各进口道车辆的到达不受其他车辆的影响, $p_{1j}, p_{2j}, p_{3j}, p_{4j}$ 相互独立。因此, 车辆从进口道 1 进入交叉口, 同时在 CT 时间内有车辆从其他进口道进入交叉口的概率为:

$$p = (p_{1j}p_{2j}) + (p_{1j}p_{3j}) + (p_{1j}p_{4j}) + (p_{1j}p_{2j}p_{3j}) + (p_{1j}p_{2j}p_{4j}) + (p_{1j}p_{3j}p_{4j}) + (p_{1j}p_{2j}p_{3j}p_{4j}). \quad (3)$$

由于上式中的各项均是不同概率的乘积, 且后 4 项是前 3 项的高阶无穷小, 计算时可以忽略, 因此可以做如下简化:

$$p = p_{1j}(p_{2j} + p_{3j} + p_{4j}), \quad (4)$$

式中, p 表示在进口道 1 有车辆进入交叉口, 且横穿时间 CT 内有其他车辆从 2、3、4 进口道进入交叉口的概率。

要预测 CT 时间内, 进口道 1 上发生的冲突数, 还需要计算车流通过交叉口过程中产生冲突的概率, 公式如下:

$$p_1 = \sum_{j=1}^3 c_j s_j, \quad (5)$$

其中, c_j 为进口道 1 上进入交叉口的车辆分别为左转、直行、右转的概率, 计算时用观测时段内的车流左转率、直行率、右转率代替; s_j 为不同方向的车流(左转、直行、右转)通过交叉口过程中与其他 3 个进口道上车流产生冲突的概率, 计算时用冲突点的数量除以 9 (其他 3 个进口道不同流向的交通流之和), 因此, 进口道 1 在 CT 时间内可能产生的冲突数为:

$$n_1 = p_1 p_{1j} (p_{2j} + p_{3j} + p_{4j}), \quad (6)$$

1 h 内进口道 1 发生的冲突数 N_1 可以表示为:

$$N_1 = p_1 (3600/CT) p_{1j} \sum_{k=2}^4 p_{kj}, \quad (7)$$

对于任一进口道 i , 1 h 内发生的冲突数 N_i 可以表示为:

$$N_i = p_i (3600/CT) \sum_{j=1}^3 p_{ij} \sum_{k=1}^4 p_{kj}, \quad (8)$$

其中, p_i 为第 i 个进口道上的车辆通过交叉口过程中, 与其他进口道车辆发生冲突的概率, 计算时参照公式 (5), k 为其他 3 个进口道中的任意一个进口道; l 为其

他进口道上任一流向的交通流。

将 $p_{ij}、p_{ii}$ 用泊松分布的表达式替换后,可以得到单一进口道小时冲突数的理论计算模型:

$$N_i = p_i (3\ 600/CT) \sum_{j=1}^3 m_{ij} \exp[-m_{ij}(CT)] \cdot \sum_{kl} m_{kl} \exp[-m_{kl}(CT)], \quad (9)$$

式中, N_i 为交叉口第 i 进口道 1 h 内发生的冲突数,对于整个交叉口而言,1 h 内发生的冲突数 N 的理论计算模型如下:

$$N = (3\ 600/CT) \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 p_i m_{ij} \exp[-m_{ij}(CT)] \cdot \sum_{kl} m_{kl} \exp[-m_{kl}(CT)]. \quad (10)$$

值得说明的是,由于上述模型在建立时,主要考虑 2 辆车从不同进口道进入交叉口引发冲突的情况,因此就整个交叉口而言,同一个冲突会被记录 2 次,(如从进口道 1、2 进入交叉口的车辆发生冲突,2 个进口均会记录),实际计算冲突数时,应予以折减,同时还应考虑交通流内部的干扰及其他因素对冲突产生的影响,对模型进行修正,修正后的模型如下:

$$N_e = A (1\ 800/CT) \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 p_i m_{ij} \exp[-m_{ij}(CT)] \cdot \sum_{kl} m_{kl} \exp[-m_{kl}(CT)], \quad (11)$$

其中, N_e 为修正后的交叉口小时冲突数; A 为修正系数,可根据实际观测结果进行标定。

以上对十字形交叉口冲突预测模型的原理同样适用于其他类型交叉口的冲突预测。

3 模型的验证

文章采用录像观测法对 4 个平交口进行录像观测,采集交通流运行特征的相关参数,并在数据处理的基础上,用上述建立的冲突预测模型计算理论发生的冲突数,同时在录像观测时记录实际发生的冲突数,通过预测值与观测值的对比,验证预测模型的准确性。在交通流相关参数的处理上,由于左转、直行、右转的 CT 值相差不大,为便于处理,文章用 CT 均值代替不同流向交通流的 CT 值,将各进口道的 m_{ij} 及 CT 值带入公式 (2),可以计算出各进口道不同流向的交通流在 CT 时间内,只有 1 辆车进入交叉口的概率,其中交叉口 3 的计算结果如表 1 所示。

以所调查的 4 个交叉口的各进口道为研究对象,采用预测模型计算在观测时段内发生的冲突数,并与实际观测值进行对比,结果如图 2 所示。

表 1 交叉口不同进口道交通流运行特征的相关参数

Tab. 1 Some parameters of traffic flow operation characters in different inlets on unsignalized intersection

进口道名称	在 CT 时间内出现 1 辆车的概率			CT/s				P_i
	左转	直行	右转	左转	直行	右转	均值	
1	0.051 559 (p_{11})	0.269 905 (p_{12})	0.224 965 (p_{13})	9	6	6	7	0.49
2	0.102 507 (p_{21})	0.278 477 (p_{22})	0.138 72 (p_{23})	8	4.5	5.5	6	0.33
3	0.155 443 (p_{31})	0.294 027 (p_{32})	0.095 54 (p_{33})	6.5	7	9	7.5	0.27
4	0.022 397 (p_{41})	0.068 148 (p_{42})	0.040 986 (p_{43})	7	4.5	5	5.5	0.19

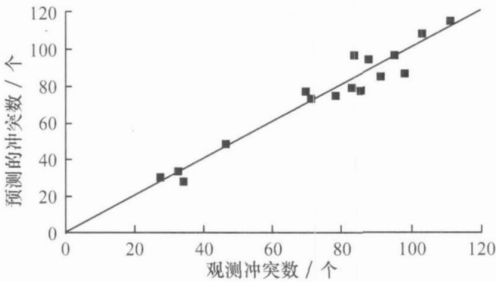


图 2 预测结果与观测值的符合情况

Fig. 2 Accordance between predict value and observation value

从图 2 可以看出,预测结果与实际观测值整体上有着良好的一致性,同时个别样本有着一定的离散性,这是由于冲突的产生除受车流的到达特征影响外,还会受到道路、交通、控制、环境等诸多因素的影响,因此在模型中应考虑上述因素对预测结果的影响对模型进行修正,结合实际观测情况,确认修正系数 A 取 0.8~1.0 较为合适。以整个交叉口为研究对象,对该结论进行 χ^2 检验,其中观测的冲突数与预测结果如表 2 所示。

表 2 观测冲突数与预测结果的对比

Tab. 2 Comparison between predict value and observation value

交叉口名称	观测值, N_o	预测值, N_e
1	356	378
2	284	257
3	277	302
4	279	263

利用预测模型计算交叉口在观测时段内发生的冲突数时,修正系数 A 取 0.9, χ^2 检验中,自由度 $n=3$,在 5% 的显著性水平下, $\chi^2=7.160$,小于临界值 7.815,因此认为按照预测模型计算得到的结果较为准确的分布在真值附近,满足预测精度的要求。

4 结论

文章在假定车辆到达服从泊松分布的基础上,通

过相关分析, 建立了无信号控制平面交叉口的交通冲突预测模型, 并利用实际观测的数据对模型进行了验证。值得说明的是, 由于建模时假定车辆到达不受其他车辆的影响, 因此模型主要适用于交通量不大, 且其他因素对车流到达特性干扰较小的情况, 当交通量较大时, 车辆之间的干扰加强, 道路交通等其他因素对车辆运行的影响凸显, 车辆的到达不再符合泊松分布, 模型预测的结果与实际结果之间有着较大差异, 此时应考虑交通流的实际运行状况, 对模型进行修正或重新建立预测模型。

参考文献:

References:

- [1] 景春光, 曲大义, 梁春岩. 两相位交叉口机非冲突对机动车饱和流率的影响研究 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (8): 124-127.
JING Chunguang, QU Dayi, LIANG Chunyan. Research on Effect of Vehicle-bicycle Conflict on Vehicle Saturation Rate in Two-phase Intersection [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (8): 124-127.
- [2] 叶凡, 陆键, 丁纪平, 等. 交通冲突技术在ETC安全评价中的应用研究 [J]. 公路交通科技, 2004, 21 (12): 107-111.
YE Fan, LU Jian, Ding Jiping, et al. Application Study of Traffic Conflict Technique in Safety Evaluation on ETC System [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21 (12): 107-111.
- [3] 马慧茹, 赵峰. 利用交通冲突评价双向路段交通安全 [J]. 山西科技, 2005 (2): 94-95.
MA Huiru, ZHAO Feng. Evaluation on the Safety Condition of Single Road Segment with Traffic Conflict Technology [J]. Shanxi Science and Technology, 2005 (2): 94-95.
- [4] 成卫, 王贵勇. 基于交通冲突技术的交叉口安全状况灰色聚类评价研究 [J]. 昆明理工大学学报: 理工版, 2005, 3 (30): 106-110.
CHENG Wei, WANG Guiyong. Gray Cluster Evaluation of Safety at Intersections by Traffic Conflict Technique [J]. Journal of Kunming University of Science and Technology, 2005, 3 (30): 106-110.
- [5] 管晓伟, 肖贵平. 基于TCT的平面交叉口灰色聚类评价方法 [J]. 华北科技学院学报, 2006, 3 (3): 21-24.
GUAN Xiaowei, XIAO Guiping. The Gray Cluster Theory Method in Evaluation of Traffic Safety Based on Traffic Conflict Technique at Signal Intersection [J]. Journal of North China Technology College, 2006, 3 (3): 21-24.
- [6] 卢川, 项乔君, 陆键, 等. 基于冲突严重性划分及灰色理论的公路平交口安全评价 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2008, 8 (1): 123-126.
LU Chuan, XIANG Qiaojun, LU Jian, et al. Traffic Safety Evaluation on Highway Intersection Based on Severity of Traffic Conflict and Gray Theory [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2008, 8 (1): 123-126.
- [7] 刘小明, 段海林. 平面交叉口交通冲突技术标准研究 [J]. 公路交通科技, 1997, 14 (3): 29-34.
LIU Xiaoming, DUAN Hailin. Research on Standard Program of Traffic Conflict Techniques at Intersections [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 1997, 14 (3): 29-34.
- [8] HUTCHINSON T P. Inter Observe Agreement about Traffic Conflicts [J]. Safety Science, 1988, 5: 30-32.
- [9] ADOLF D. Traffic Flow Fundamentals [M]. May, 2004.
- [10] RAO V T, RENGAREJU V R. Modeling Conflicts of Heterogeneous Traffic at Urban Uncontrolled Intersections [J]. Journal of Transportation Engineering, 1998, 2: 23-34.