

DOI:10.11918/201903133

高速公路施工区合流路段交通冲突模型

朱顺应, 邹 禾, 蒋若曦, 肖文彬, 王 红

(武汉理工大学 交通学院, 武汉 430000)

摘 要: 为了对高速公路施工区合流路段交通冲突进行微观分析以及探索交通冲突技术在无人驾驶领域的应用, 采集 12 个交通微观信息变量数据作为训练集, 结合先验知识, 建立了贝叶斯网络模型并采用交叉验证方式评估模型精确度. 结果表明: 大车作为冲突主体车辆会导致交通冲突概率和冲突严重性上升; 与冲突两车的前后相邻车辆会对两车的冲突有一定影响; 当车辆采取超车行为时, 会提升车辆发生交通冲突的概率; 匝道合流路段发生交通冲突的概率和严重性较转幅路段更高. 采用建立的贝叶斯网络交通冲突模型对驾驶策略进行评估并提出冲突规避措施, 如分流大车; 在特定路段采取管制措施禁止超车, 限制单车道长度, 设置车距确认设施等.

关键词: 高速公路施工区; 合流路段; 交通冲突; 贝叶斯网络; 多车交互作用; 驾驶策略评估

中图分类号: U491 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2020)09-0070-07

Traffic conflict model for confluence section in highway construction area

ZHU Shunying, ZOU He, JIANG Ruoxi, XIAO Wenbin, WANG Hong

(School of Transportation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430000, China)

Abstract: For the microscopic analysis of road traffic conflicts in confluence sections of highway construction area and to explore the application of traffic conflict technology in the field of unmanned driving, 12 variables of microscopic traffic information were collected as training set. The Bayesian network model was established combined with prior knowledge, and the precision of the model was evaluated by using cross validation method. Results show that large vehicles, as the main body of the conflict, could lead to the increase of the probability and severity of traffic conflicts. The preceding and following vehicles of two conflict vehicles had certain impact on the collision between the two vehicles. Overtaking behavior increased the probability of traffic conflicts. The probability and severity of traffic conflicts were higher in ramp merging sections than in turning sections. The proposed Bayesian network traffic conflict model was used to evaluate driving strategies, and conflict avoidance measures were put forward, such as diverging large vehicles. In certain road sections, it is suggested to take control measures to prohibit overtaking, limit the length of a single lane, set up distance confirmation facilities, and so on.

Keywords: highway construction area; confluence section; traffic conflict; Bayesian networks; multiple vehicle interaction; driving strategy assessment

高速公路改扩建、养护施工区因持续时间短,事故资料少,交通冲突作为一种非事故统计技术对于高速公路施工区的交通安全评价具有很好的适用性^[1-2]. 现有交通冲突研究方法主要分为集计方法和非集计方法. 集计方法^[3-4]多采用统计模型建立特定时空内的交通冲突模型,并对冲突频率与道路条件、交通条件因素进行回归寻找出两者之间的关系,其不足在于难以评估微观的道路环境下的交通冲突状况. 非集计方法^[5-6]是以单个交通冲突为研

究对象的方法,非集计方法的研究多为通过车辆运动学建立交通冲突的物理模型,大部分非集计交通冲突研究只对冲突两车进行研究分析,未考虑冲突两车的相邻车辆对于冲突两车的影响,考虑相互作用车辆较少.

本文以单个交通冲突为研究对象,同时参考车联网技术^[7-8],考虑冲突主体两车之外的车辆对交通冲突主体的影响,使用机器学习通过大量数据训练构造交通冲突贝叶斯网络模型,研究交通冲突与速度、加速度等 12 个交通微观信息之间的相互关系,基于机器学习的贝叶斯网络与其他建模方法相比,可以更为直观地表达出微观数据与交通冲突之间的关系. 同时对交通冲突模型在交通领域对车联网下无人驾驶干预冲突技术提出了展望.

收稿日期: 2019-03-19
基金项目: 国家自然科学基金(71771183)
作者简介: 朱顺应(1967—),男,教授,博士生导师
通信作者: 邹 禾,eno1994@163.com

1 数据采集与分析

1.1 数据采集

为了构建交通冲突贝叶斯网络模型,在 2019 年 1 月 10 日至 1 月 25 日,选取了济青高速公路改扩建施工区多个区段合流区,通过雷达采集交通冲突数据. 高速公路改扩建合流路段是在施工区对两车道进行合流变为单车道的路段,有两种类型:一种是匝道合流路段;另一种是车辆变换车道同时合流的路段. 合流路段道路状况变化较大,交通情景复杂,具有重要的研究价值,本次实验所选的施工区合流路段,设计车速为 100 km/h,施工时限速为 80 km/h. 两种合流路段采集现场如图 1 所示,为了考虑施工区道路技术条件难以量化因素,选择多个不同区段进行数据采集,以提升训练得到的贝叶斯网络对于不同交通场景的适应性.



(a) 匝道合流路段



(b) 转幅合流路段

图 1 两种类型的合流路段

Fig.1 Two types of confluence sections

本次数据采集时间包含早高峰 8:00—9:00 时,晚高峰 16:00—17:00 时以及平峰 10:00—11:00 时、15:00—16:00 时,采集地点为济南—青岛高速公路 K130+800、K176+800、K259+500、K277+300、K283+500、K287+700 六个标段,共采集了 25 h 的数据,经过整理,保留数据完整的 35 418 帧的数据.

本次实验使用 SmartRader SR600G 型路段跟踪雷达,覆盖长度为 200 m,将雷达架设在高速公路上方高架桥或道路侧向较高点,可以对道路车辆行驶数据进行精确的采集,相比传统的数据采集方式,雷

达可在夜间光线较差时工作,采集的数据连续性更好,在模型中的表达能力更强. 每秒采集 10 帧数据,以帧为单位获得的数据,数据量更大,数据更为精确,位置误差小于 0.3 m,速度误差小于 0.3 m/s.

1.2 数据描述及分析

本文以 B 车和 C 车之间的交通冲突为研究主体,A、D 车为整条道路上除 C 车外与 B 车相距最近的车辆,A、B、C、D 车可以在相同的车道也可以在不同的车道,车辆位置由前到后分别为 A、B、C、D. 研究加入 A、D 车的车辆信息以综合考虑研究冲突主体的两车 B、C 受道路上的相邻车辆 A、D 的影响. 后续部分将 4 车分别描述为:相邻车辆 A、冲突车辆 B、冲突车辆 C、相邻车辆 D,单个冲突微观研究范围如图 2 所示.

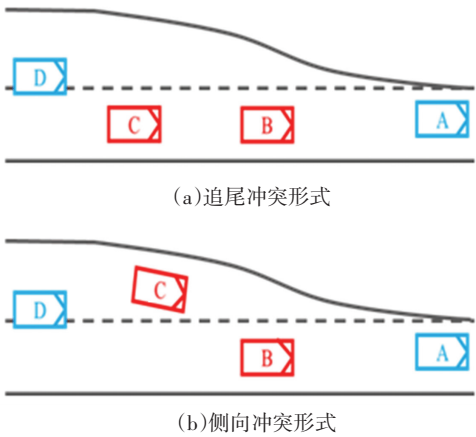


图 2 单个冲突微观研究范围

Fig.2 Microscopic research scope of individual conflicts

本次实验视频识别得到的数据为某一帧的车辆信息,此处选取 TDTC (time difference to collision) 作为实验的冲突指标. TDTC 定义为在某个时刻,假定车辆的速度和方向保持不变,两辆车通过当前轨迹的交叉点(冲突点)的时间差^[9]. TDTC 作为一种新的冲突指标能同时对异车道冲突、同车道冲突进行识别,也可对冲突的前期预测分析,很好地弥补了 TTC (time to collision) 和 PET (post encroachment time) 的不足^[10]. 因为高速公路施工区的车辆行为比正常路段更为复杂,TDTC 的特点使得其作为高速公路施工区的冲突指标具有很好的适应性. 以 t 时刻,冲突车辆 B、冲突车辆 C 两车为冲突主体简单描述 TDTC 的概念,如图 3 所示.

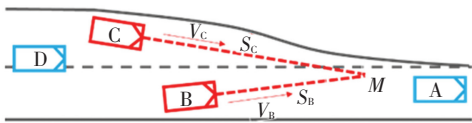


图 3 TDTC 概念描述

Fig.3 Schematic diagram of TDTC concept

$$\text{TDTC} = T_{\text{C}} - T_{\text{B}} = \frac{s_{\text{C}}}{V_{\text{C}}} - \frac{s_{\text{B}}}{V_{\text{B}}}, \quad (1)$$

式中： T_{C} 为 C 车到达冲突点 M 的所需时间, s; V_{C} 为 C 车在 t 时刻的瞬时速度, m/s²; s_{C} 为 C 车 t 时刻距冲突点 M 的距离, m; T_{B} 为 B 车到达冲突点 M 的所需时间, s; V_{B} 为 B 车 t 时刻的瞬时速度, m/s²; s_{B} 为 B 车 t 时刻到达冲突点 M 的距离, m.

当 B、C 两车无交点 M 时两车无冲突. 在训练集中, 目标变量为 B、C 车之间的交通冲突, 通过 TDTC 指标进行判断, 本文参考国内外相关研究, 同时考虑高速公路施工区这一特殊交通场景, 选取 TDTC 为 3 s 为严重冲突的阈值, 通常在 TDTC 远大于 3 s 时, 将交通冲突划归潜在冲突, 因为本次贝叶斯网络建模受限于数据量, 需要通过控制变量的离散类型以提高模型的精确度, 同时考虑到交通事故与严重冲突的相关性远大于一般冲突, 此次只将交通冲突分为严重冲突、一般冲突、无冲突 3 种类型.

1.3 变量选择及数据离散

借鉴学者对前后两车辆在特定断面上的交通冲突微观分析技术, 考虑前后左右 4 个近邻车辆在较大区域时空上的连续相互作用, 选择与交通冲突 (目标变量) 可能具有相关性的 12 个微观交通数据作为构建贝叶斯网络的变量. 下面分别对这些变量进行介绍.

ΔV_x 为 B、C 车纵向速度差, 即 C 车纵向车速减去 B 车纵向车速 (可为负); ΔV_y 为 B、C 车横向速度差, 即 C 车横向车速减去 B 车横向车速 (可为负); ΔV_{AB} 为 A、B 车速度差, 即 B 车速度减去 A 车速度 (可为负); ΔV_{CD} 为 C、D 车速度差, 即 D 车速度减去 C 车速度 (可为负); a_{B} 为 B 车加速度, 即 B 车的加速度; a_{C} 为 C 车加速度, 即 C 车的加速度; L_{AB} 为 A、B 车辆距离, 即 A 车与 B 车之间的距离; Y_{BC} 为 B、C 车横向间距, 即 B 车与 C 车之间的横向距离; X_{BC} 为 B、C 车纵向间距, 即 B 车与 C 车之间的纵向距离; L_{CD} 为 C、D 车辆距离, 即 C 车与 D 车之间的距离; ω 为车辆类型; θ 为合流路段类型; φ 为冲突类别.

为了提高训练数据的表达能力, 加强贝叶斯网络模型的稳定性, 首先需要对数据进行离散处理. 通过查阅交通冲突领域的相关文献^[11-13], 同时考虑高速公路施工区这一特殊交通场景, 分析各个变量与 B、C 车交通冲突的关系, 确定了离散的具体阈值见表 1.

表 1 数据离散描述

Tab.1 Data discrete description

变量	变量类型	离散类型	离散判别条件
ΔV_x	预测变量	0	$\Delta V_x \leq 5 \text{ m/s}$
		1	$\Delta V_x > 5 \text{ m/s}$
ΔV_y	预测变量	0	$\Delta V_y \leq 1 \text{ m/s}$
		1	$\Delta V_y > 1 \text{ m/s}$
ΔV_{AB}	预测变量	0	$\Delta V_{\text{AB}} \leq 0 \text{ m/s}$
		1	$\Delta V_{\text{AB}} > 0 \text{ m/s}$
ΔV_{CD}	预测变量	0	$\Delta V_{\text{CD}} \leq 0 \text{ m/s}$
		1	$\Delta V_{\text{CD}} > 0 \text{ m/s}$
a_{B}	预测变量	1	$a_{\text{B}} \leq -2 \text{ m/s}^2$
		2	$-2 \text{ m/s}^2 < a_{\text{B}} \leq 0 \text{ m/s}^2$
		3	$0 \text{ m/s} < a_{\text{B}} \leq 2 \text{ m/s}^2$
		4	$a_{\text{B}} > 2 \text{ m/s}^2$
a_{C}	预测变量	1	$a_{\text{C}} \leq -2 \text{ m/s}^2$
		2	$-2 \text{ m/s}^2 < a_{\text{C}} \leq 0 \text{ m/s}^2$
		3	$0 \text{ m/s}^2 < a_{\text{C}} \leq 2 \text{ m/s}^2$
		4	$a_{\text{C}} > 2 \text{ m/s}^2$
L_{AB}	预测变量	0	$L_{\text{AB}} > 70 \text{ m}$
		1	$L_{\text{AB}} \leq 70 \text{ m}$
Y_{BC}	预测变量	0	$Y_{\text{BC}} > 1.5 \text{ m}$
		1	$Y_{\text{BC}} \leq 1.5 \text{ m}$
X_{BC}	预测变量	0	$X_{\text{BC}} > 70 \text{ m}$
		1	$X_{\text{BC}} \leq 70 \text{ m}$
L_{CD}	预测变量	0	$L_{\text{CD}} > 70 \text{ m}$
		1	$L_{\text{CD}} \leq 70 \text{ m}$
ω	预测变量	1	B、C 车均为小车
		2	B、C 车一大一小
		3	B、C 车均为大车
θ	预测变量	0	转幅合流
		1	匝道合流
φ	目标变量	无冲突	TDTC 不存在
		严重冲突	$0 \text{ s} \leq \text{TDTC} \leq 3 \text{ s}$
		一般冲突	$\text{TDTC} > 3 \text{ s}$

2 贝叶斯网络建模

2.1 贝叶斯网络原理简介

贝叶斯网络是概率论与图论的结合体, 由两部分组成, 一部分为一个有向无环图, 由代表变量的节点及连接这些节点有向边构成; 另一部分为给定数据的条件概率表, 它决定了变量之间的关系强度. 对于一个有 n 个节点 $(x_1, x_2, \cdots, x_n)$ 的联合概率分布的表示形式为

$$P(x_1, x_2, \cdots, x_n) = \prod_{i=1}^n P(x_i | \text{parent}(x_i)), \quad (2)$$
式中: $P(x_i | \text{parent}(x_i))$ 为与节点 i 相关的局部条件概率分布, $\text{parent}(x_i)$ 为标记节点 i 的父节点(如果节点 i 没有父节点, $\text{parent}(x_i)$ 可以为空)^[14].

2.2 贝叶斯网络建模

贝叶斯网络建模包括结构学习和参数学习两个步骤.

2.2.1 结构学习

贝叶斯网络结构学习即确定贝叶斯网络的有向无环图(DAG). 考虑到此次试验的变量个数较多, 模型复杂, 为了提高贝叶斯网络模型的精度, 将融合先验知识对贝叶斯网络进行结构学习^[15-16]. 最终基于先验知识确定的变量相互关系为

$$\begin{aligned} &[(\Delta V_x, \varphi); (\Delta V_y, \varphi); (a_B, \varphi); (a_C, \varphi)] \in \delta_e, \quad (3) \\ &\left[\begin{aligned} &(\omega, \varphi); (X_{BC}, \varphi); (Y_{BC}, \varphi); (a_B, \Delta V_x); \\ &(a_C, \Delta V_x); (\Delta V_{AB}, L_{AB}); (\Delta V_{CD}, L_{CD}) \end{aligned} \right] \in \delta_a, \quad (4) \end{aligned}$$

式中 δ_e, δ_a 的解释如下: $(x, y) \in \delta_e$ 表示在搜索学习的过程中 $x \rightarrow y$ 这个结构始终存在于网络结构中;

$(x, y) \in \delta_a$ 表示在搜索学习的过程中, 始终存在 $x \rightarrow y$ 或者 $y \rightarrow x$.

采用 MATLAB 软件, 融合先验知识学习得到的贝叶斯网络结果, 如图 4 所示.

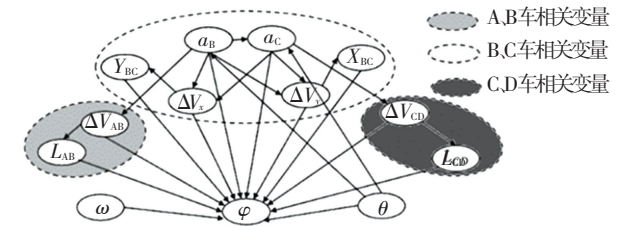


图 4 贝叶斯网络结构学习结果

Fig.4 Bayesian network structure learning results

2.2.2 参数学习

在确定了贝叶斯网络的结构后, 需要对贝叶斯网络进行参数学习, 参数学习实质上是在已知网络结构的条件下, 来获得每个节点的条件概率表(CPT). 本次采集的数据集为完善数据集, 无缺失数据, 采用最大似然估计的方法进行参数学习.

下面以 C 车加速度 a_c 变量为例, 比较实际计算的条件概率与参数学习的结果, 简单描述参数学习过程, 见表 2.

表 2 C 车加速度的参数学习

Tab.2 Parameter learning for acceleration of vehicle C

$a_c / (\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	观测概率/%			参数学习结果/%		
	无冲突	一般冲突	严重冲突	无冲突	一般冲突	严重冲突
$(-\infty, -2]$	60.02	29.77	10.21	60.02	29.77	10.21
$(-2, 0]$	64.22	26.11	9.67	64.22	26.11	9.67
$(0, 2]$	52.03	34.18	13.79	52.03	34.18	13.79
$(2, \infty]$	40.81	36.54	22.65	40.81	36.54	22.65

由表 2 可以看出, 无缺失数据的状况下, 对贝叶斯网络 C 车加速度进行的参数学习与实际计算结果一致, 参数估计无误差.

2.3 可靠性验证

考虑到采集的数据来自于 6 个路段, 为了验证训练得到的贝叶斯网络对于不同交通场景的适应性, 本文引入 K-Fold 交叉验证的方式对机器学习得到的贝叶斯网络进行验证^[17]. 该验证方式可以对模型的泛化能力进行评价, 即检验训练得到的贝叶斯网络对于各种不同交通场景的适用性. 本文中 K 值取 10, 对贝叶斯网络进行交叉验证.

利用交叉验证的方法对贝叶斯网络进行验证, 验证结果表明无冲突识别精度为 97.84%, 一般冲突识别精度为 78.16%, 严重冲突识别精度为 71.69%, 总体精度为 88.82%.

交叉验证结果表明该贝叶斯网络识别的交通冲

突类型可靠性较高, 也说明了该网络模型对于不同交通场景均具有较高的适用性.

3 基于模型的交通冲突影响因素分析

目前贝叶斯网络的推理方法种类很多, 本文采用联合树算法进行推理, 因为其应用较广, 研究较成熟^[18].

3.1 单变量对交通冲突的影响分析

以车辆类型对交通冲突的影响为例, 说明单变量对交通冲突影响分析, 不同车辆类型的高速公路施工区交通冲突类型的概率分布, 如图 5 所示.

由图 5 可知, 当 B、C 两车都为小车时, 交通冲突和严重交通冲突发生的概率均较低; 当 B、C 两车为一辆小车与一辆大车时, 交通冲突发生的概率和严重冲突发生概率有所增加; 当 B、C 两车都为大车时, 交通冲突的概率较两车都为小车时增加, 但严重

冲突低于一辆大车与一辆小车的情景. 考虑到大车在高速行驶速度通常较快且因惯性较大, 减速较慢, 在高速公路合流区易提升交通冲突发生的概率. 当 B、C 车均为大车时, 因为道路环境复杂, 且都为大车, 通常会提前减速谨慎通过, 故交通冲突发生概率较 B、C 车为一辆大车一辆小车时稍低. 在高速公路改扩建施工区的合流路段, 大车对于交通冲突发生概率的影响较大.

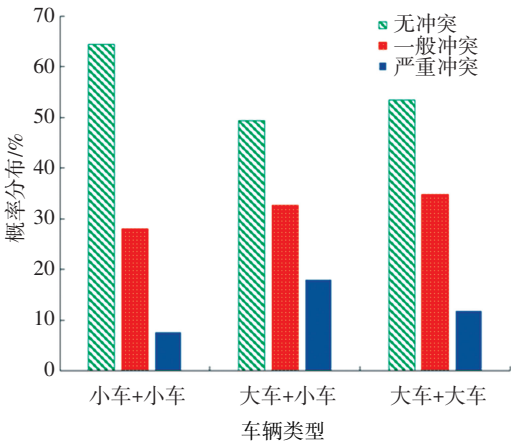


图 5 车辆类型对冲突类型的影响

Fig.5 Influence of vehicle types on conflict types

类似地, 基于学习得到的贝叶斯网络可以分析各变量对高速公路施工区交通冲突的影响.

3.2 多变量对交通冲突的影响分析

3.2.1 综合考虑 B、C 车横向间距、纵向速度差对交通冲突的影响

以 B、C 车横向间距、纵向速度差对交通冲突的影响为例, 说明多变量对交通冲突影响分析, 不同 B、C 车横向间距、纵向速度差的高速公路施工区交通冲突类型的概率分布, 如图 6 所示.

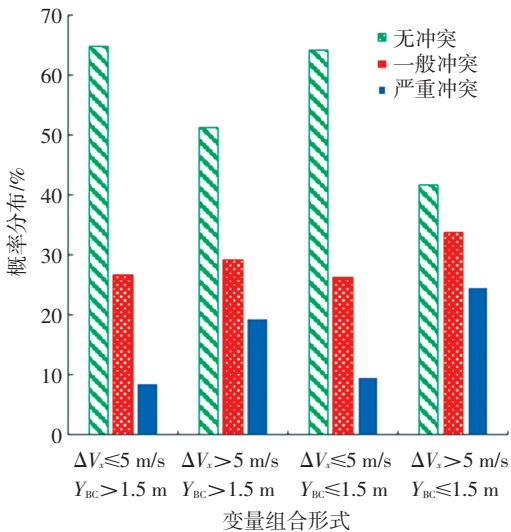


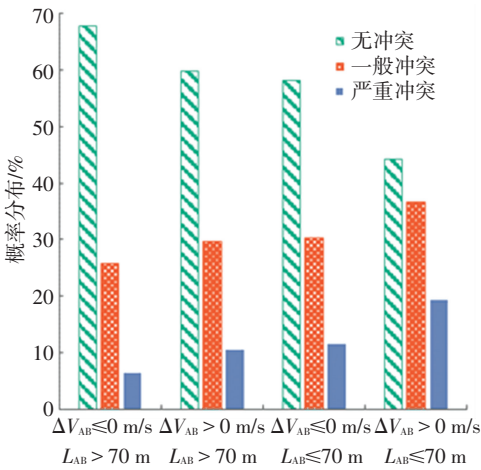
图 6 B、C 车横向间距、纵向速度差对交通冲突的影响

Fig.6 Influence of horizontal spacing and longitudinal speed difference of vehicles B and C on traffic conflicts

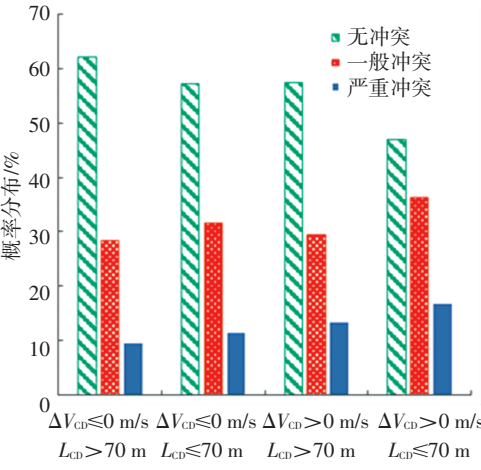
由图 6 可知, 当 $\Delta V_x > 5 \text{ m/s}$, $Y_{BC} \leq 1.5 \text{ m}$ 时, B、C 处于同车道且后车速度比前车快, 发生冲突的概率较高, 且易发生严重冲突; 当 $\Delta V_x > 5 \text{ m/s}$, $Y_{BC} > 1.5 \text{ m}$ 时, B、C 两车发生严重冲突的概率为 19.38%, 一般冲突的概率为 29.35%. 此时, 车辆间距大于 1.5 m 时, 在高速公路施工区合流路段处于车道二转一状态, 当此时后车速度较前车速度快时, 后车处于加速超车抢道行为, 总结得到, 车辆的超车抢道行为在一定程度上会提升与相邻车辆发生冲突的概率.

3.2.2 对比分析 A 车与 D 车对 B、C 车交通冲突的影响

基于训练得到的贝叶斯网络, 对比分析 A 车与 D 车对 B、C 车交通冲突的影响, 如图 7 所示.



(a) A 车对交通冲突的影响



(b) D 车对交通冲突的影响

图 7 A 车与 D 车对 B、C 车交通冲突的影响

Fig.7 Influence of vehicles A and D on traffic conflicts of vehicles B and C

由图 7 分析可知, A、D 车的行驶状态均会对 B、C 车发生交通冲突的概率产生影响, 特别是当 A、D 两车距离交通冲突主体 B、C 车较近时, 会提升交通冲突发生的概率. 比较 A、D 车辆对交通冲突的影

响,发现 A 车对于 B、C 车冲突的影响较 D 车更大。结果表明,驾驶员在驾驶车辆时,由于视觉关注点的原因,驾驶的注意重心相较于后方车辆 D 车会更多地倾向于前方车辆 A,因此 A 车对 B、C 车冲突的影响大于 D 车,同时,在合流路段,匝道车辆加速驶入主道时,受前车影响很大,A 车若处于减速状态,会引起 B 车跟随减速,提升 B 车与 C 车之间发生交通冲突的概率,在施工区应在符合施工规范条件下,减少合流区长度,优化合流区道路线形,使前车能尽快加速驶离合流区。

3.2.3 对比分析不同类型合流路段与车辆类型对交通冲突的影响

由图 8 分析可知,匝道合流路段交通冲突发生的概率高于转幅合流路段,特别是当 B、C 车为一辆小车和一辆大车时,交通冲突发生的概率较高。由于高速公路施工区的匝道合流路段匝道两旁的交通标牌、防撞桶等设施较多,可能会干扰匝道驾驶员合入主道时的行车视距,因此易提高交通冲突发生的概率。

类似,可以基于高速公路施工区交通冲突贝叶斯网络对其他单变量及多变量对交通冲突的影响进行分析。

表 3 示例变量信息
Tab.3 Variable information of the example

输入变量	ΔV_x	ΔV_y	ΔV_{AB}	ΔV_{CD}	α_B	α_C	L_{AB}	X_{BC}	Y_{BC}	L_{CD}	ω	θ
离散类型	1	0	0	1	2	4	1	1	0	1	1	0

基于贝叶斯网络的预测作用,可以为车辆的冲突规避措施提供指导,以本例中的 C 车为例,输入表 4 各变量信息,可以得到该时刻 B、C 车不发生冲突的概率为 38.75%,一般冲突的概率为 34.82%,严重冲突的概率为 26.43%。本文利用贝叶斯网络的预测功能,计算 C 车后续的行为对交通冲突的影响,并以此来指导 C 车采取最合适的交通冲突规避措施,以策略 I 为例说明过程,步骤为:1) 减速至 C 车加速度 $-2\text{ m/s}^2 < a_c \leq 0\text{ m/s}^2$; 2) 保持该加速度直至 B、C 车速度差 $\Delta V_x < 5\text{ m/s}$; 3) 保持该行驶状态至 B、C 车纵向距离 $X_{BC} > 70\text{ m}$ 。该策略链下 B、C 车交通冲突变化情况如图 9 所示。

通过图 9 可以看出,当 C 车辆完成步骤 1) 时,发生严重冲突的概率由 26.43% 降低到 20.34%,一般冲突概率由 34.82% 降低到 33.27%; 完成步骤 2) 时,严重冲突概率又降低到 9.25%,一般冲突概率降低到 27.59%; 当完成步骤 3) 时,严重冲突的概率降低至 3.03%,一般冲突的概率降至 12.83%,策略链 I 的 3 个步骤会逐步减低交通冲突发生的概率及严重性。

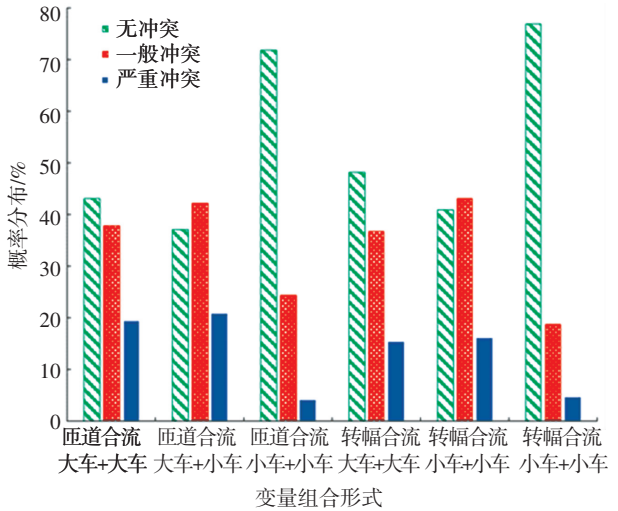


图 8 不同类型合流路段与车辆类型对交通冲突的影响
Fig.8 Influence of different types of confluence sections and vehicle types on traffic conflicts

4 基于交通冲突预测的驾驶策略评估

可以基于表 2 的离散类型输入已知的预测变量来对交通冲突进行预测,下面以采集的数据分布集中的 1 个例子来对交通冲突的预测过程进行描述,示例输入信息见表 3。

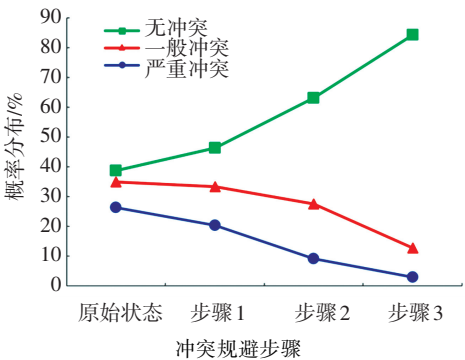


图 9 策略 I 对交通冲突状况的改变
Fig.9 Effect of strategy I on traffic conflict situations

类似地,该种交通冲突预测功能的应用可以为车辆避免冲突发生的驾驶行为作出指导,通过将车辆的后续采取的驾驶策略输入模型,输出交通类型概率分布,通过得到的概率分布对驾驶策略进行评估,对车辆进行驾驶指导,可以有效规避冲突,改善安全性。

参考贝叶斯网络建模的思想,可以基于搜索评分的算法对当前驾驶状态下所有后续可行驾驶策略

进行搜索,后续通过交通冲突模型对各驾驶策略进行评估,选取评分最高的驾驶策略指导无人驾驶车辆后续驾驶,为无人驾驶对于车辆行驶的干预策略优化提供了一种思路。

5 结 论

1)大型车的参与会提高交通冲突发生的概率以及冲突的严重性;车辆在高速公路施工区合流路段的超车抢道行为会提高交通冲突的概率;与冲突两车的相邻车辆会对交通冲突情况产生影响,因为驾驶员视觉的原因,冲突主体的前车对交通冲突影响更大;匝道合流路段发生交通冲突的概率和严重性较转幅路段更高。基于得到的结论可针对性的采取措施来降低交通冲突概率,提升交通安全水平,如分流大车;在特定路段采取管制措施禁止超车,设置车距确认设施;在符合规范的条件减少合流区长度,优化道路线形等。

2)在交通冲突建模过程中,融合交通冲突领域的先验知识,提前确定交通冲突模型的部分结构,再基于数据学习得到最终的模型,可以在提高建模效率的同时,提高模型的精确度。

3)基于交通冲突模型,可以对车辆后续的驾驶策略进行评估或优化,指导车辆驾驶,为无人驾驶对车辆驾驶行为的干预提供了一种新思路。

4)本研究主要考虑高速公路改扩建施工区合流路段的车辆因素,未引入道路参数与交通流数据(如主道匝道交通流量比、大车比等),道路参数及交通流的影响在一定程度上已经体现在采集到的微观车辆信息内,同时基于交叉验证的结果,可以看出该不足之处对交通冲突模型的结果影响较小。其次,受限于数据量,对预测变量的离散分类不够细化,下一步将采集更多的数据,细化变量的离散类型,更精确的对交通冲突进行研究。

参考文献

- [1] JOHNSON C, LAURESHYN A, De CEUNYNCK T. In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators[J]. *Transport Reviews*, 2018, 38(6): 765. DOI: 10.1080/01441647.2018.1442888
- [2] MAHMUD S M S, FERREIRA L, HOQUE M S, et al. Application of proximal surrogate indicators for safety evaluation: a review of recent developments and research needs[J]. *IATSS Research*, 2017, 41(4): 153. DOI: 10.1016/j.iatssr.2017.02.001
- [3] UZONDU C, JAMSON S, LAI F. Exploratory study involving observation of traffic behaviour and conflicts in Nigeria using the Traffic Conflict Technique[J]. *Safety Science*, 2018, 110: 273. DOI: 10.1016/j.ssci.2018.08.029
- [4] ESSA M, SAYED T. Traffic conflict models to evaluate the safety of signalized intersections at the cycle level[J]. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2018, 89: 289. DOI: 10.1016/j.trc.2018.02.014
- [5] DAVIS G A, HOURDOS J, XIONG H, et al. Outline for a causal model of traffic conflicts and crashes[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2011, 43(6): 1907. DOI: 10.1016/j.aap.2011.05.001
- [6] STYLIANOU K, DIMITRIOU L, ABDEL-ATY M A. Development of a spatio-temporal hybrid conflict severity indicator on urban network[R]. Washington DC: Transportation Research Board 97th Annual Meeting, 2018
- [7] KONG L, KHAN M K, WU F, et al. Millimeter-wave wireless communications for IoT-cloud supported autonomous vehicles: overview, design, and challenges [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2017, 55(1): 62. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600422CM
- [8] LOSCRI V, RUGGERI G, VEGNI A, et al. Social structure analysis in Internet of Vehicles[C]// *Proceedings of CoWPER Workshop, IEEE International Conference on Sensing, Communication and Networking*. Hong Kong: IEEE, 2018: 1
- [9] 朱顺应, 蒋若曦, 王红, 等. 机动车交通冲突技术研究综述[J]. *中国公路学报*, 2020, 33(2): 15
- ZHU Shunying, JIANG Ruoxi, WANG Hong, et al. Review of research on traffic conflict techniques[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2020, 33(2): 15. DOI: 10.19721/j.cnki.1001-7372.2020.02.002
- [10] GETTMAN D, HEAD L. Surrogate safety measures from traffic simulation models[J]. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2003, 1840(1): 104. DOI: 10.3141/1840-12
- [11] JIA H F, JUAN Z C. Development of a car-following model based on desired spacing[J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2000, 13(4): 86
- [12] ZHENG L, SAYED T, ESSA M. Validating the bivariate extreme value modeling approach for road safety estimation with different traffic conflict indicators[J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2019, 123: 314. DOI: 10.1016/j.aap.2018.12.007
- [13] LAURESHYN A, SVENSSON A, HYDÉN C. Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: theoretical framework and first implementation [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2010, 42(6): 1637. DOI: 10.1016/j.aap.2010.03.021
- [14] JENSEN F V, NIELSEN T D. Bayesian networks and decision graphs[M]. New York: Springer-Verlag, 2001
- [15] De CAMPOS L M, CASTELLANO J G. Bayesian network learning algorithms using structural restrictions[J]. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2007, 45(2): 233. DOI: 10.1016/j.ijar.2006.06.009
- [16] HECKERMAN D, GEIGER D, CHICKERING D M. Learning Bayesian networks: the combination of knowledge and statistical data [J]. *Machine Learning*, 1995, 20(3): 197
- [17] KOHAVI R. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection[C]// *Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Montreal: IJCAI Inc., 1995: 1137
- [18] LARRANAGA P, KARSHENAS H, BIELZA C, et al. A review on evolutionary algorithms in Bayesian network learning and inference tasks[J]. *Information Sciences*, 2013, 233: 109. DOI: 10.1016/j.ins.2012.12.051