

文章编号:1008-1542(2021)04-0327-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



面向高级车辆事故自动呼救系统的伤情预测

陆颖¹, 刘裕发¹, 束瑜², 季小洁¹

(1. 江苏大学汽车与交通工程学院, 江苏镇江 212013; 2. 镇江市第四人民医院, 江苏镇江 212000)

摘要:为提高高级车辆事故自动呼救(advanced automatic crash notification, AACN)系统的救援效率,提出了一种驾驶员伤情预测算法,基于算法进行了 AACN 系统终端的总体设计。首先,选取驾驶员年龄、性别、是否佩戴安全带、速度变化量、事故碰撞方向以及驾驶员侧安全气囊是否打开作为驾驶员伤情的影响因素;其次,对交通事故数据进行分析并构建 Logistic 回归模型,使用 Hosmer-Lemeshow 测试表对模型进行验证,通过敏感性分析获得最佳触发阈值;再次,对 AACN 系统终端进行设计;最后,通过实际案例检验伤情预测算法的准确性和 AACN 系统终端的有效性。结果表明,所提出的驾驶员伤情预测算法和 AACN 系统的准确性较高,能够有效预测驾驶员伤情,有助于救援中心制定积极有效的救援方案。研究结果可用于解决现有的集中式 AACN 系统呼叫效率不高且准确性受人为因素影响较大的问题,为分散式 AACN 系统中驾驶员伤情预测算法的设计提供参考。

关键词:公路运输其他学科;道路事故数据;Logistic 回归模型;驾驶员伤情预测模型;高级车辆事故自动呼救系统

中图分类号:U461.91

文献标识码:A

doi:10.7535/hbkd.2021yx04002

Injury prediction for advanced automatic crash notification system

LU Ying¹, LIU Yufa¹, SHU Yu², JI Xiaojie¹

(1. School of Automotive and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China; 2. The Fourth People's Hospital of Zhenjiang City, Zhenjiang, Jiangsu 212000, China)

Abstract: In order to improve the rescue efficiency of the advanced automatic crash notification (AACN) system, a driver injury prediction algorithm was proposed, and the overall design of the AACN system terminal was conducted based on this algorithm. First, the amount of speed change, the direction of the accident, the driver's age, gender, whether to wear the seat belt, and whether the driver's side airbag inflated were selected as the influencing factors of the driver's injury. Next, a Logistic regression model was analyzed and developed based on traffic accident data. The effectiveness of the model was verified by using the Hosmer-Lemeshow test table, and the best trigger threshold was obtained through sensitivity analysis. Then,

收稿日期:2021-03-31;修回日期:2021-05-24;责任编辑:冯民

基金项目:国家自然科学基金(51605197);江苏省自然科学基金(BK20160524);镇江市重点研发计划(社会发展)项目(SH2019054)

第一作者简介:陆颖(1981—),男,江苏镇江人,副教授,博士,主要从事汽车被动安全方面的研究。

E-mail:luying@ujs.edu.cn

陆颖,刘裕发,束瑜,等.面向高级车辆事故自动呼救系统的伤情预测[J].河北科技大学学报,2021,42(4):327-333.

LU Ying, LIU Yufa, SHU Yu, et al. Injury prediction for advanced automatic crash notification system[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2021, 42(4): 327-333.

the AACN system terminal was designed. Finally, an actual case was used to test the accuracy of the injury prediction algorithm and the effectiveness of AACN system terminal. The results of the case study show that the proposed driver injury prediction algorithm and the AACN system are highly accurate, which can effectively predict the driver's injury and help the rescue center work out an active rescue plan. The research results can be used to solve the problem that existing centralized AACN systems' efficiency is not high and their accuracy is greatly affected by human factors. Consequently, they provide a reference for the design of driver injury prediction algorithm in the decentralized AACN system.

Keywords: other subjects of highway transportation; road accident data; Logistic regression model; driver injury prediction model; the advanced automatic crash notification system

高级车辆事故自动呼救(advanced automatic crash notification, AACN)系统是一种事故后车辆安全技术。该系统可以检测碰撞事故是否发生并通过车载数据检测器记录碰撞事故信息(如车辆位置信息、速度变化量等),同时能够预测驾驶员的受伤情况^[1]。如果驾驶员的伤情水平超过预设阈值, AACN 系统将向救援中心发送事故信息,相关救援组织将前往营救受伤严重的驾驶员。同时,紧急救援中心也将依据驾驶员的伤情概率制定相应的治疗计划,保障其生命安全。由于尽早提供救助与治疗对减轻人员伤害的严重性和挽救生命有非常重要的意义,因此 AACN 系统对道路交通事故受害者有很大帮助,大大提高了乘员的生存率^[2]。

传统的只能够自动识别碰撞的车辆事故自动呼救(automatic crash notification, ACN)系统在技术上已经比较成熟。国外主要的汽车企业所提供的车载服务系统内都集成有 ACN 系统,典型的有通用公司的安吉星(Onstar)系统和欧洲汽车企业的 e-call 系统,欧盟从 2018 年开始就要求所有新车必须配备 e-call 系统,目前已经形成一个较为完备的应急救援生态圈^[3]。中国 ACN 系统只是汽车企业的个体行为,没有后台支持、得到的社会资源有限、救护车调度难、呼救回应台的搭建不完整等问题都导致 ACN 系统在中国还未得到普及。就 AACN 而言,其在传统 ACN 系统的基础上增加了伤情预测功能,使得系统的复杂性大大增加,现有实际应用的例子主要是有宝马(BMW)汽车公司的 AACN 系统。该系统由 BMW 公司的 URGENCY 算法进行伤情预测。其主要不足如下:1)采用的是高度中心化的预测模式,即伤情预测只能由 BMW 服务中心依据 URGENCY 算法来进行;2)整个过程需要驾驶员和服务中心人员进行交互,可能导致伤情误判或者呼救延误^[4]。此外, BMW 公司的 AACN 系统需要与汽车事件数据记录(event data recorder, EDR)系统配合使用,其 URGENCY 算法输入的参数需要由事故车辆的 EDR 系统向服务中心输送,而实际上 EDR 系统在汽车中并未得到广泛普及,只在少数豪华车型上才装配了该系统^[5]。

目前国内外一些学者提出了分散化的解决方案,即由汽车自身根据传感器的数据自动判断事故发生并预测伤情。AUGENSTEIN 等^[6]利用 Logistic 回归模型,分析收集到的交通事故碰撞数据,建立了驾驶员伤情预测模型。KONONEN 等^[7]分析了在二次碰撞情况下,不同碰撞方向和车辆类型驾驶员的受伤情况,并且通过敏感性分析确定最佳阈值。ZHANG 等^[8]在统计的碰撞数据中增加了胸部 CT 扫描数据,提出了正面碰撞下驾驶员胸部伤情预测模型。BAHOUTH 等^[9]通过向 KONONEN 等建立的模型中添加自变量(例如,车辆是否侧翻以及驾驶员是否系安全带)来设法提高伤情预测的准确性,从而提高算法的准确性。周水庭等^[10]对收集到的碰撞案例进行加权计算,将车辆受撞击之后的损坏区间分为垂直、横向和纵向 3 个方面,建立了车辆损坏区间与驾驶员伤情达到 MAIS3+ 的 Logistic 回归方程。褚端峰等^[11]收集了过去 5 年来重庆高速公路上发生的 194 次车祸的数据,分析了驾驶员伤情与重叠率、质量比、碰撞方向和车辆变形程度之间的相关性。王磊等^[12]根据 227 起交通事故数据,基于人、车、路、环境 4 个要素,建立了有序和多项 Logistic 驾驶员伤情预测模型。刘爱松^[13]利用 Logistic 回归模型,分析并预测了在不同条件下驾驶员伤情达到 MAIS3+ 的概率。从以上文献可以看出,现有的伤情预测研究大多数是一种回顾性的研究,主要目的是识别影响伤情的因素^[14]。随着研究的逐渐深入,伤情预测模型也变得越来越复杂,考虑的因素也越来越多,但是,这种分散化的 AACN 系统究竟该如何采集关于车辆的哪些数据,一直是个值得探讨的问题。虽然现有不少关于驾驶员伤情预测的模型,考虑的参数越来越多且更加全面,有助于提高伤情预测的准确性,但是有些参数很难通过车载传感器获得。此外,随着机器学习算法的运用,一些学者开始尝试采用神经网络、贝叶斯分析等方法预测伤情,但是这些方法在车载终端使用是否会导致预测效率的降低也是一个值得商榷的问题。

本文基于分散化的解决方案,将驾驶员伤情预测从汽车企业的后台前移到车辆内部,限定伤情预测模型

的输入参数可以通过车载传感器测得或者驾驶员事先输入,从而最大限度地减少人为失误,提高呼救效率。本文针对现有研究主要涉及多参数复杂预测模型的建立,且较少涉及到模型对于 AACN 系统终端适用性的问题,基于所建立的预测模型,提出了 AACN 系统终端的工作流程,考虑到现有研究对模型可靠性验证不足的问题,通过真实事故案例验证伤情预测模型的准确性和 AACN 系统的可靠性。

1 基于 Logistic 回归的驾驶员伤情预测模型

1.1 模型定义

基于 Logistic 回归模型的统计分析方法被广泛运用到交通、车辆、医学等多个领域。本文将驾驶员伤情未达到“Fatal”的概率设为 $p(y_i=0|x_i)$, 驾驶员伤情达到“Fatal”的概率设为 $p(y_i=1|x_i)$, Fatal 表示驾驶员伤情达到最大简明损伤定级 3 级以上,即 MAIS3+(max abbreviated injury scale 3+),同时定义变量 $x_i(i=1,2,3,\dots,n)$ 为影响因素。考虑到二元 Logistic 回归模型适用于因变量为二分类的分类变量,并且具有数据训练高效、易于编程实现的优点,因此,本文选用二元 Logistic 回归模型来研究驾驶员的伤情。驾驶员伤情达到“Fatal”概率的回归方程如式(1)所示:

$$p(y_i = 1 | x_i) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_i)}} \tag{1}$$

式中 $\alpha, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 是待求系数。

1.2 数据处理

收集美国国家公路交通安全管理局事故案例调查(special crash investigation, SCI)数据库中 2004—2016 年共计 998 组汽车碰撞事故的数据。在 998 组数据中,年龄在 16~28 岁的记为 1,29~39 岁的记为 2,40~50 岁的记为 3,50 岁以上记为 4;将性别为女性的记为 1,性别为男性的记为 0;车型为 CAR 的记为 0,车型为 SUV 的记为 1;将左侧碰撞记为 1,右侧碰撞记为 2,追尾碰撞记为 3,正面碰撞记为 4;驾驶员佩戴安全带记为 1,未佩戴记为 0;驾驶员侧安全气囊打开记为 1,未打开记为 0;驾驶员伤情达到“Fatal”记为 1,驾驶员伤情未达到“Fatal”记为 0。

1.3 驾驶员伤情预测模型的建立与验证

首先在已经处理好的 998 组数据中,对数据进行随机选择,得到 683 组训练数据和 315 组待测数据;然后将 683 组训练数据导入 SPSS Statistics 25 软件中,选择二元 Logistic 回归模型,得到相关数据如表 1 所示。

表 1 Logistic 回归模型
Tab.1 Logistic regression model

影响因素		系数	标准误差	显著性
速度变化量		0.710	0.006	0
常量		-6.321	0.722	0
碰撞方向	正面碰撞	-	-	0
	左侧碰撞	1.572	0.313	0
	右侧碰撞	0.670	0.318	0
	追尾碰撞	0.408	0.339	0.229
车型	CAR=0			
	SUV=1	2.401	0.553	0
年龄	16~28 岁	-1.252	0.283	0
	29~39 岁	-0.739	0.308	0.017
	40~50 岁	-0.393	0.317	0.215
	50 岁以上	-	-	0
性别	女性=1			
	男性=0	-0.462	0.223	0.039
是否佩戴安全带	是=1			
	否=0	0.916	0.266	0.001
驾驶员侧安全气囊是否打开	是=1			
	否=0	1.034	0.271	0

从表1可以看出,追尾碰撞的显著性为0.229,年龄在40~50岁的显著性为0.215,均明显大于显著性水平0.05。这表明追尾碰撞和年龄在40~50岁对驾驶员的伤情预测在5%的显著性水平上没有统计学意义。

本文选择“Hosmer-Lemeshow 检验的随机性表”来检验模型的拟合优度^[15],如表2所示。该检验标准与常规检验不同,要求卡方值应低于其临界值。在显著性水平为0.05时,其自由度为8,卡方临界值为15.51。从表2可以看出,检验卡方值为3.629,小于15.51,检验通过。根据随后的显著性值0.889与0.05的比较,也能证明通过检验了。

表2 Hosmer-Lemeshow 检验

Tab.2 Hosmer-Lemeshow test		
卡方值	自由度	显著性
3.629	8	0.889

对应于 Hosmer-Lemeshow 检验,在正常情况下,要求实测值与期望值逐渐趋于接近^[16]。将得到的数据绘制成图,如图1所示,其中图1 a)表示 Fatal=0,即驾驶员未达到“Fatal”的概率;图1 b)表示 Fatal=1,即驾驶员达到“Fatal”的概率。图中,自变量为实测值,因变量为期望值,黑点代表样本点,直线为“y=x”。图1结果显示,实测值与期望值的样本点靠近“y=x”直线,说明模型的整体拟合效果比较理想。

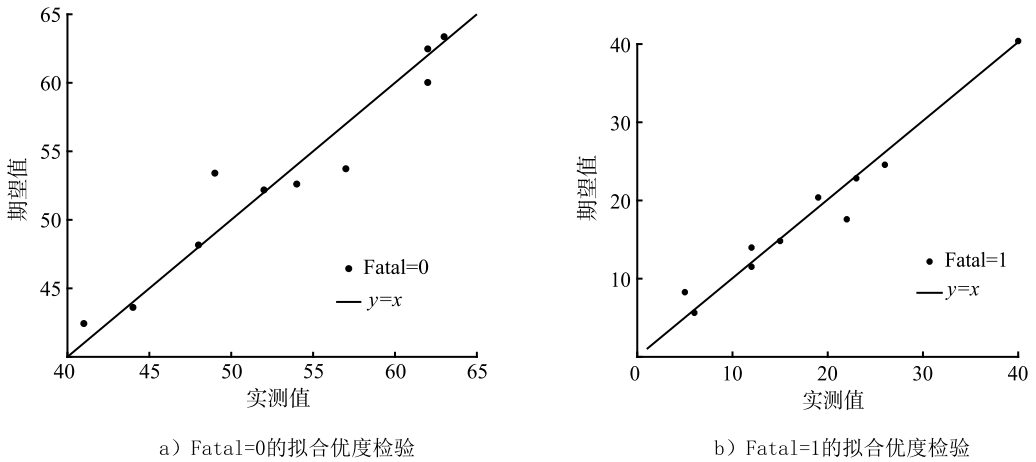


图1 拟合优度检验

Fig.1 Goodness of fit test

将剩下的315组待测数据导入驾驶员伤情预测模型中进行预测,图2为315组中部分待测数据基于 Logistic 回归模型的预测概率。图中,从下至上表示速度变化量、事故碰撞方向、车型、年龄、性别、是否佩戴安全带、安全气囊是否打开以及回归模型的预测概率(左侧)和实际伤情对应的值(右侧)。

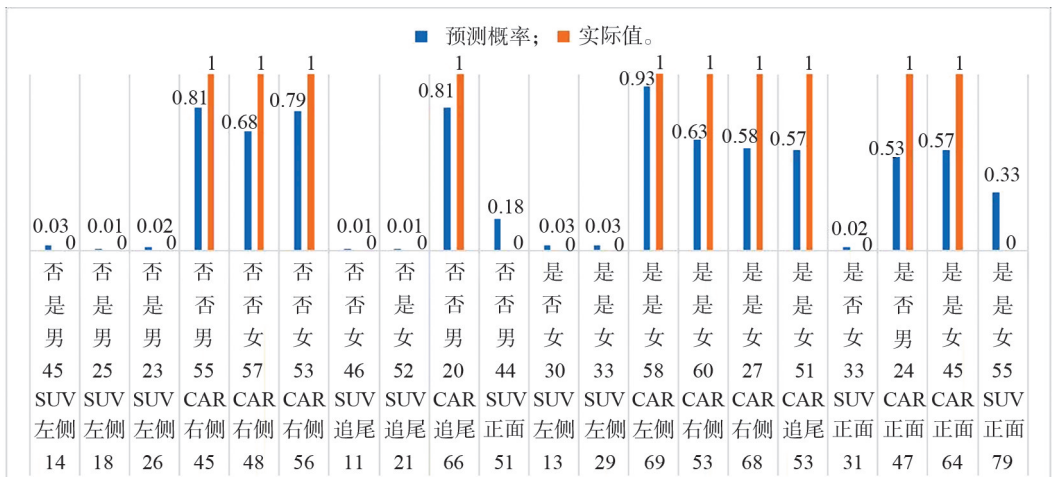


图2 部分检验数据基于 Logistic 回归模型的预测概率

Fig.2 Part of the test data based on the predicted probability of the Logistic regression model

2 受试者工作特性曲线

受试者工作特性(receiver operating characteristic,ROC)曲线评价又称敏感性分析^[17],其被用来评价模型的预测水平。根据模型和得到的预测结果,其 ROC 曲线如图 3 所示。横坐标表示 1-特异性,纵坐标表示敏感性。特异性和敏感性见式(2)和式(3),其中 TP(true positive)为真阳性,TN(true negative)为真阴性,FP(false positive)为假阳性,FN(false negative)为假阴性。

$$\text{特异性} = \frac{\text{TN}}{\text{TN} + \text{FP}}, \quad (2)$$

$$\text{敏感性} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}. \quad (3)$$

在 ROC 曲线下方的面积为 AUC(area under curve),用于评价模型的准确性。AUC 的取值为 0.5~1,AUC 越接近 1,模型准确性越高。在 315 组数据中,该预测模型的 AUC 值为 0.787。由此可见,该模型预测的结果具有较好的准确性。

求出“敏感性+特异性-1”的值即可计算触发阈值,求得的最大值就代表最佳阈值。由 SPSS 软件导出数据可知,当敏感性为 0.771,特异性为 0.712 时,此时的触发阈值 0.483 为最大值,因此该驾驶员伤情预测模型的最佳阈值为 0.483。

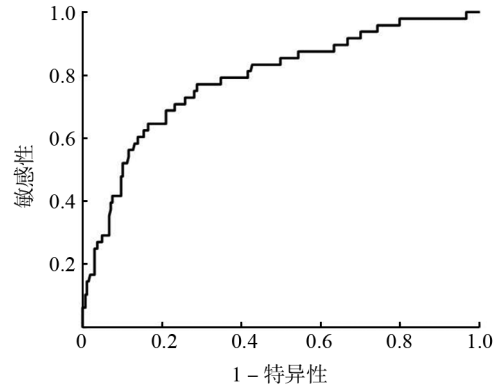


图 3 ROC 曲线

Fig. 3 Curve of ROC

3 AACN 系统终端设计与验证

3.1 AACN 系统终端设计

AACN 系统终端以加速度信号为判断标准,用于检测碰撞事故的发生。当检测到事故发生时,则计算并预测驾驶员伤情,并根据驾驶员伤情的严重程度判断是否需要向外呼救。

选择 STM32F103ZET6 开发板进行终端设计,同时安装加速度传感器、GPS 模块、GSM 模块和 LCD 模块,然后将终端固定在车辆上。在驾驶车辆前,驾驶员需要先输入相关信息。加速度传感器可以对运行中的车辆加速度进行实时采集,若采集到的碰撞加速度数据小于预设的加速度阈值,则存储加速度数据并计算速度变化量,然后综合相关信息计算驾驶员伤情概率,如果超过预设的最佳阈值,则立即定位车辆位置并对外发送事故信息,事故信息包括速度变化量、驾驶员伤情概率、GPS 信息等。AACN 系统终端连接如图 4 所示。

本文使用碰撞检测算法及检测车身加速度峰值法来检测碰撞事故是否发生^[18]。试验表明,车辆以 50 km/h 行驶或紧急制动时,产生的加速度 a_x 均未小于 $-2g$ 。因此,将 $-2g$ 作为判断碰撞事故发生的最佳阈值,整体流程如图 5 所示。

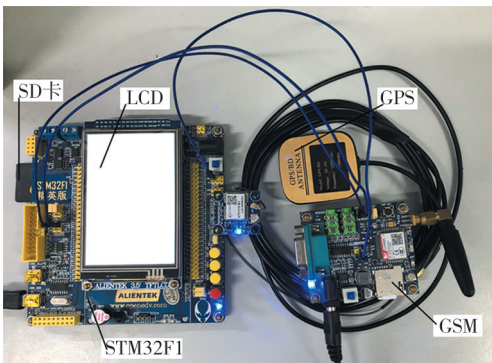


图 4 AACN 系统终端

Fig. 4 AACN system terminal

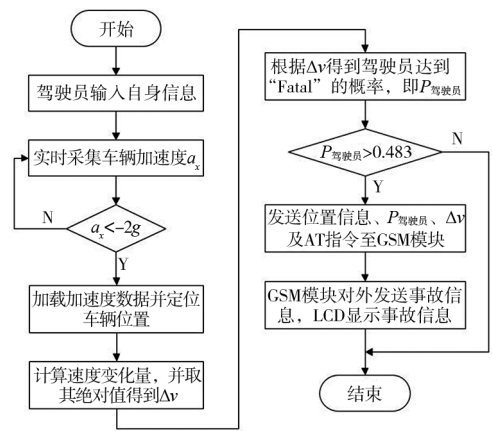


图 5 AACN 系统终端整体流程

Fig. 5 AACN system terminal overall process

3.2 AACN 系统验证

如果能将终端直接装到车上并进行实车碰撞,分析车内驾驶员伤情与 AACN 的分析结果是否一致,这将是一个非常理想的方法,但显然这种方法具有一定的危险性而且成本过高。利用实际事故案例验证碰撞模型也是近年来出现的一种方法,例如利用事故视频、事故报告等来估计判断相关理论或仿真分析结果是否正确,目前这种方法已经得到较为广泛的应用^[19]。因此,本文决定引入实际事故案例对建立的 Logistic 回归模型和 AACN 系统的准确性进行验证^[20]。碰撞发生在 2012 年 1 月,1 名 42 岁的女性驾驶员驾驶 CHRYSLER 汽车发生碰撞并翻车。在车辆行驶过程中,驾驶员没有佩戴安全带,事故发生后,车辆检测到速度变化量为 31 km/h,驾驶员侧安全气囊打开,驾驶员被认定为达到“Fatal”伤情等级。事故案例信息如表 3 所示。

表 3 事故案例信息

Tab.3 Accident case information

碰撞类型	性别	速度变化量/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	车型	年龄	是否佩戴 安全带	安全气囊 是否打开	$P(\Delta v)$	实际值
左侧碰撞	女	31	car	42	0	1	0.99	1

在事故案例中,驾驶员在事前输入自己的信息,如年龄“42 岁”,性别“女”。然后以一定的速度驾驶汽车在公路上行驶,同时,车辆开始实时采集车身加速度数据 a_x 。行驶一段时间后发生碰撞,碰撞类型为左侧碰撞,检测到的 a_x 小于 $-2g$,此时 AACN 系统判定发生碰撞,然后立刻定位车辆位置,并根据存储的加速度数据计算速度变化量并取绝对值,利用公式计算驾驶员“Fatal”概率。经对汽车检测和现场勘查情况可知,驾驶员在驾驶过程中没有佩戴安全带,在碰撞发生后安全气囊打开,汽车速度变化量为 31 km/h,驾驶员被救援人员认定达到“Fatal”伤情等级。通过使用本文建立的 Logistic 回归模型,利用公式计算得到驾驶员达到“Fatal”伤情的概率是 0.99,超过了阈值 0.483, AACN 系统同样认定驾驶员达到“Fatal”伤情等级。然后对外发送求救信号和事故信息,同时 LCD 屏显示事故信息, AACN 系统终端会对外发送短信。其短信内容如图 6 所示。

实验结果表明,该回归模型和 AACN 系统可以有效地检测到碰撞事故的发生,自动呼救系统能够记录和计算碰撞过程中的碰撞速度变化量、驾驶员伤情概率等碰撞信息以及碰撞事故发生的地理位置信息。



图 6 LCD 模块显示

Fig. 6 LCD module display

4 结 语

本文依据统计收集到的交通事故数据,采用 Logistic 回归模型,建立了驾驶员伤情预测算法。将处理好的数据导入该模型中,可预测多个变量下驾驶员的伤情是否达到“Fatal”的情况。数据仿真及验证结果表明,该预测模型的准确率较高,可以应用于 AACN 系统中。通过对 AACN 系统终端的整体设计,实现了事故信息的及时传递与发送。紧急救援中心在接到 AACN 系统发送的交通事故信息和驾驶员伤情预测后可以快速制定医疗方案,不仅减少了医疗资源的浪费,还可以提高重伤驾驶员的生存概率。

碰撞事故的严重性是多种因素综合作用的结果。车辆类型对交通事故的严重性具有显著影响,受限于事故案例数据,本文对于车辆类型只是简单地将其划分为小轿车和 SUV,今后如能获得这些案例中碰撞车辆的相关参数,将会更加深刻地分析车型对于事故的影响。与此同时,车辆类型、车身结构、碰撞方向、碰撞速度等多种因素共同作用的结果最终会反映为碰撞过程中产生的能量,因此若能建立碰撞过程中产生的能量与乘员伤情之间的关联模型,将能有效提高伤情预测的精度。如何测得这些能量以及如何布置传感器,都值得后续展开研究。此外,在设计阈值时,本文主要是基于数据的特异性和敏感性获得的,未来可考虑将车辆自身的安全等级、事故发生地的救援水平、救援成本、交通条件、汽车左舵右舵等纳入阈值设定的考虑范围。

参考文献/References:

- [1] 唐伟.基于路面平整度识别 ACNS 阈值设定问题研究[D].镇江:江苏大学,2019.
TANG Wei.Research on Threshold Setting of ACNS Based on Pavement Roughness Recognition[D].Zhenjiang,Jiangsu University,2019.
- [2] PAL C,HIRAYAMA S,NARAHARI S,et al.Effect of abbreviated injury scale(AIS)change on injury severity prediction for advanced automatic crash notification(AACN)[J].International Journal of Automotive Engineering,2017,8(2):71-78.
- [3] BANCE I,YANG S C,ZHOU Q,et al.A framework for rapid on-board deterministic estimation of occupant injury risk in motor vehicle crashes with quantitative uncertainty evaluation[J].Science China(Technological Sciences),2021,64(3):521-534.
- [4] NASSAR L,KAMEL M S,KARRAY F,VANET IR-CAS for safety ACN:Information retrieval context aware system for VANET automatic crash notification safety application[J].International Journal of Intelligent Transportation Systems Research,2016,14(3):127-138.
- [5] QIU J L,SU S,DUAN A W,et al.Preliminary injury risk estimation for occupants involved in frontal crashes by combining computer simulations and real crashes[J].Science Progress,2020,103(2):36850420908750.
- [6] AUGENSTEIN J,PERDECK E,BAHOOUTH G T,et al.Injury identification:Priorities for data transmitted[C].International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles,2005.
- [7] KONONEN D W,FLANNAGAN C A C,WANG S C.Identification and validation of a logistic regression model for predicting serious injuries associated with motor vehicle crashes[J].Accident Analysis and Prevention,2011,43(1):112-122.
- [8] ZHANG P,PARENTEAU C,WANG L,et al.Prediction of thoracic injury severity in frontal impacts by selected anatomical/morphomic variables through model-averaged logistic regression approach[J].Accident Analysis Prevention,2013,60:172-180.
- [9] BAHOUTH G,GRAYGO J,DIGGES K,et al.The benefits and tradeoffs for varied high-severity injury risk thresholds for advanced automatic crash notification systems[J].Traffic Injury Prevention,2014,15:S134-S140.
- [10] 周水庭,唐友名.侧碰事故中乘员 MAIS3+损伤分布规律研究[J].中国安全科学学报,2013,23(9):71-75.
ZHOU Shuiting,TANG Youming.Distribution of MAIS3+injured occupants by location of damage of struck vehicle in side impact[J].China Safety Science Journal,2013,23(9):71-75.
- [11] 褚端峰,吴超仲,李顺喜,等.基于 Logistic 回归的高速公路车-车碰撞事故深度分析[J].中国安全科学学报,2014,24(3):103-108.
CHU Duanfeng,WU Chaozhong,LI Shunxi,et al.In-depth analysis of vehicle-vehicle crash on freeways based on Logistic regression[J].China Safety Science Journal,2014,24(3):103-108.
- [12] 王磊,吕璞,林永杰.高速公路交通事故影响因素分析及伤害估计[J].中国安全科学学报,2016,26(3):86-90.
WANG Lei,LYU Pu,LIN Yongjie.Traffic accidents on freeways:Influencing factors analysis and injury severity evaluation[J].China Safety Science Journal,2016,26(3):86-90.
- [13] 刘爱松.车辆事故自动呼救系统触发决策技术研究[D].镇江:江苏大学,2017.
LIU Aisong.Study on Trigger Decision Technology for Vehicle Accident Automatic Call System [D].Zhenjiang,Jiangsu University,2017.
- [14] GABLER H C,WEAVER A A,STITZEL J D.Automotive Field Data in Injury Biomechanics[M].New York:Springer,2015.
- [15] KAMDEN K S,MWARUMBA M.Design and Analysis in Educational Research:ANOVA Designs in SPSS[M].London:Routledge,2020.
- [16] 殷越洲.高级车辆事故自动呼救系统伤情预测算法研究及终端设计[D].镇江:江苏大学,2020.
YIN Yuezhou.Research on the Injury Prediction Algorithm and the Terminal Design of Advanced Automatic Crash Notification System [D].Zhenjiang,Jiangsu University,2020.
- [17] 孙乐媛.基于 Bernstein 多项式的 ROC 曲线的非参数估计[D].大连:大连理工大学,2019.
SUN Leyuan.Nonparametric Estimation of the ROC Curve Based on the Bernstein Polynomial[D].Dalian:Dalian University of Technology,2019.
- [18] 张玉辰.基于动态阈值的车辆事故自动呼救系统终端设计[D].镇江:江苏大学,2020.
ZHANG Yuchen.Design of Automatic Crash Notification System Terminal Based on Dynamic Discrimination Threshold[D].Zhenjiang: Jiangsu University,2020.
- [19] HAN Y,LI Q,WANG F,et al.Analysis of pedestrian kinematics and ground impact in traffic accidents using video records[J].International Journal of Crashworthiness,2019,24(2):211-220.
- [20] National Highway Traffic Safety Administration.SCI Crash Overview-Summary[DB/OL].<https://crashviewer.nhtsa.dot.gov/nass-sci/CaseForm.aspx?xsl=main.xml&CaseID=685312931>,2020-12-01.