

The ANN Classification Model on Vehicle Speed of Car-to-Pedestrian Accidents Based on the Body Injuries

YUAN Quan, GUO Rui, LI Yi-bing

(State Key Laboratory of Automobile Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Through the investigation on car-to-pedestrian accidents, the relations between body injuries and characteristics of vehicle impact are analyzed. The impact speeds are classified by statistics. Above that, based on the Artificial Neural Network (ANN) method, several relevant typical parameters are selected to build a classification model of vehicle impact speed of car-to-pedestrian accidents. The input layer of the model includes 4 nodes: pedestrian age, height difference between pedestrian and engine hood, AIS and ISS of pedestrian. The output layer of the model represents the classification result of vehicle impact speed. Using the credible data from real accidents, the model can be trained and applied in vehicle-speed estimate and accident reconstruction.

Key words: car-to-pedestrian accidents; body injuries; vehicle impact speed; ANN

基于人体损伤的轿车碰撞行人事故车速神经网络分类模型

袁泉, 郭锐, 李一兵

(清华大学 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 在对轿车碰撞行人事故进行调研分析的基础上, 分析人体损伤与车辆碰撞特点之间的联系, 将车辆碰撞速度统计分类, 选择与其相关的特征参数, 运用人工神经网络方法建立了轿车碰撞行人事故的碰撞速度分类预测模型。该模型的输入层包含 4 个节点, 包括行人的年龄、人车相对高度参数以及人体损伤的特征参数: AIS 和 ISS 值; 输出层代表碰撞速度 8 种不同的分类结果区间。选取实际事故案例提取的可靠样本对模型进行训练和应用, 辅助进行车速分析与事故再现。

关键词: 轿车碰撞行人事故、人体损伤、车辆碰撞速度、人工神经网络

1 引言

轿车碰撞行人事故是城市道路中的典型事故类型。国内外利用事故资料统计分析对车辆碰撞行人事故研究取得了一定的进展^[1~4], 但由于人车碰撞事故本身的复杂性, 使得车速鉴定和事故再现仍具有较大的不确定性。大部分行人事故现场难以得到车轮的制动印迹等代表车辆运动特性的信息, 而人车的路面接触点位置也很难精确勘查出来, 因此更增加了对此类事故分析和再现的难度。

人体损伤程度可以用来辅助进行交通事故再现分析。在缺少路面痕迹等直接证据的情况下, 可考虑根据人体的特征伤情推断车速数值大小^[5]。在运用计算机模拟方法进行事故再现时, 也需要借助人体损伤进行分析和验证。行人事故中的重要特征伤为头部损伤和下肢损伤, 通常作为推断车辆碰撞速度和人车接触特征的主要依据。

人工神经网络(ANN)是一种模拟人的神经系统建立的非线性动力学系统, 具有一定的自学习、自组织、自适应和预测等功能特性^[6], 将神经网络技术应用于交通事故车速分析研究, 基于神经网络理论建立汽车碰撞行人事故的车速分类模型, 根据行人事故特征参数的值估算和推测车辆碰撞速度的数值范围, 辅助进行事故再现分析。

2 行人事故概述

实际发生的车辆碰撞行人事故, 其碰撞过程的具体情形取决于车辆的速度和类型、人体的身高体态、人车接触的部位和特点等。典型的轿车碰撞行人事故, 如果人体的重心高出轿车前端, 则碰撞后的人体运动应分为三个阶段, 即载人行驶、空中飞行和地面滑行。

有关车辆的碰撞速度估算一般按照行人质心水平抛出的近似计算方法^[5], 综合应用动能定理和平抛运动公式可以得到车辆的碰撞速度为

$$V = \sqrt{2g\mu} \left(\sqrt{h + \frac{x}{\mu}} - \sqrt{h} \right) \quad (1)$$

其中 μ ：人体一路面摩擦系数， h ：人体抛出高度， g ：重力加速度， x ：人体撞出距离。

行人损伤的程度与人的身高、碰撞速度及车辆前端的特点（长度、高度）有关^[2]。各种车辆碰撞行人事故的特点不同，车辆与行人之间的作用力与接触区域不同。研究表明^[3]，行人的受伤程度与车辆的前部形状密切相关，发动机罩长度短时行人易与挡风玻璃接触。对事故调查分析发现，碰撞速度越低行人下肢、头部等部位的损伤程度越小。根据北京市近年发生的160例典型汽车碰撞行人交通事故统计，得出了此类事故中车辆碰撞速度的分布情况，见图2，其中，碰撞速度在40~50公里/小时内的分布最多，90公里/小时以上较少。

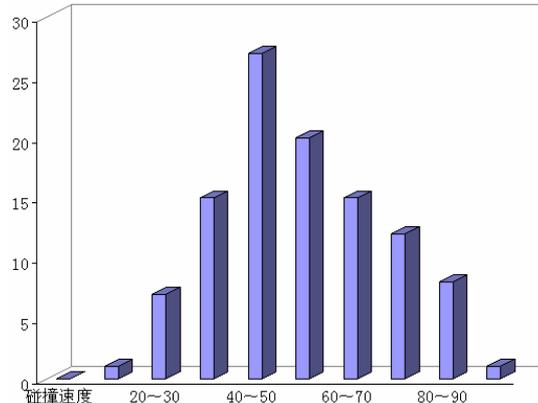


图2 160例汽车碰撞行人事故的碰撞速度统计

3 行人事故的特征参数

通过上述特点分析，可归纳出基于人体伤害对行人事故碰撞速度进行分类所需的主要特征参数。

3.1 车辆参数

车辆参数包括基本信息参数和人车接触参数。与行人事故所致人体损伤有关的车辆基本信息参数包括车辆的基本类型（如平头、长头）、前端形式（如发动机罩、保险杠、挡风玻璃的类型、材料、几何参数）、碰撞速度等。在此以车辆的基本类型及发动机罩几何参数作为车速分类的特征参数。

人车接触参数包括车辆的接触部位、损坏特征及程度。其中，车辆的接触部位对人体碰撞后的运动及人体损伤影响较大，而车辆的损坏程度，如挡风玻璃的破裂程度也反应了碰撞速度数值大小。

3.2 人体参数

人体参数包括基本生理参数和损伤特征参数。人体的基本生理参数包括性别、年龄、身高、体态、重量等。对于轿车而言，人的身高参数与车辆前端形状及碰撞速度共同决定被撞后人体的运动。试验表明，若人体的重心高出轿车前端，车速在40km/h以上人体倒向发动机罩并以某一仰角飞出。人的年龄与骨质及人体的生物力学特性有关。因此选择人的年龄和身高作为碰撞车速分类的特征参数。

损伤特征参数包括损伤的部位、特征及程度。对人体损伤进行定量描述，选择常用的简明创伤定级法AIS对人体损伤进行量化评分。损伤严重度评分ISS则更全面的反映人体损伤程度，即对人体3个最严重损伤区域的最高AIS分值的平方和^[7]。在此，选择人体的AIS最大值和ISS值共同作为描述人体损伤情况的基本特征参数。

4 神经网络相关理论

后传播神经网络（Back Propagation Network）是应用最广的神经网络方法，其网络结构简单、使用方便，解决了大多数神经网络所面临的问题。采用最小误差学习方法和修改的Delta学习规则，以适用于多层网络。一般地，它由充分连接的三层以上的单元组成，通常输入层单元只与中间层单元相连，中间层单元只与输出层单元相连，每层中的单元之间没有连接。其处理单元的传递函数多采用S型函数： $y = 1/(1 + e^{-x})$ ，各单元确定输出的方法为：

$$I_i = \sum_{j=1}^n W_j x_j \quad (2)$$

式中： W_j ——权重系数

它是指导下学习的网络，必须给网络输入一系列相应的输入和输出数据，使网络从已有的数据中学习，因此网络的训练需花费时间。在权重调节时加入一偏置值称为动量 (Bias)，可减少网络训练时间。在广义的规则中加入一动量值，其权重的增量为

$$\Delta W_{ij}(t+1) = \beta E x_i + \alpha \Delta W_{ij}(t) \quad (3)$$

式中： E ——单元的误差； β ——学习速率； x_i ——沿此权重连接传来的输入值； α ——动量常数，取 0~1。

当数据输入后，网络首先从前向后计算各单元的输出，将输出结果与应有的输出进行比较，并计算误差。然后是向后传播，从后向前重新计算误差，并修改权重，使误差信号最小。在分类、预测中常采用 $4 \times 6 \times 4$ 型 BP 网络，基于历史数据对其进行训练、检验和实际应用。

5 碰撞速度分类的人工神经网络模型

利用人工神经网络思想，构建行人事故车速分类的“完全模型”的框架见图 3，其中，输入信息包括人体的基本生理参数（如年龄、性别、身高、体态等）和损伤特征参数（损伤部位、损伤程度）、车辆的基本类型参数（车型、前端特征参数）和人车接触信息（车辆的接触部位及损坏程度）及其他参数；中间层可选择适用的人工神经网络分类计算模型；输出为车速计算或区间分类结果。

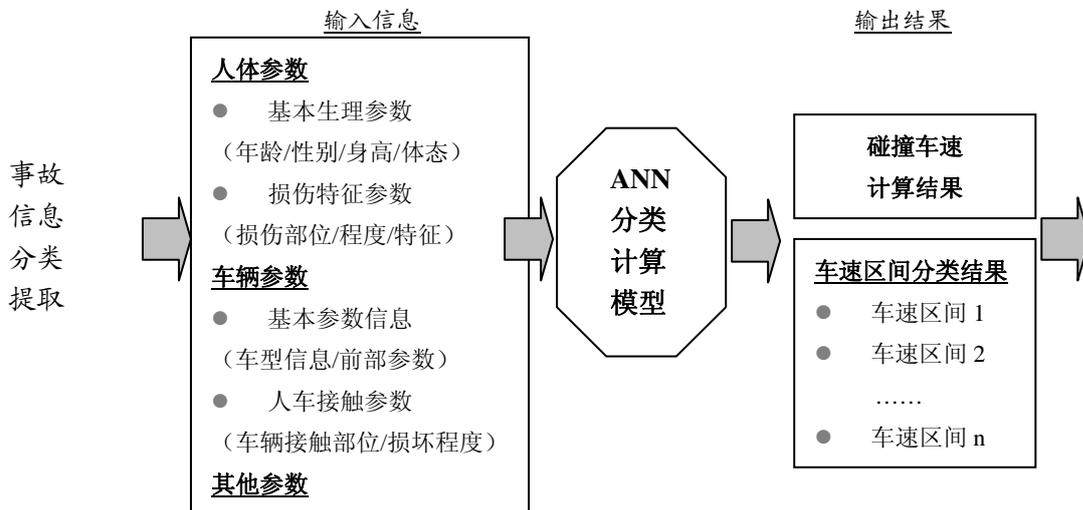


图 3 汽车碰撞行人事故车速神经网络分类的完全模型

基于上述的建模思路，针对数量最多的典型轿车前部正碰男性行人事故，构建分类模型，在此考虑与车辆碰撞速度关联的人体及其损伤的特征参数主要有 4 个，也即

$$V = f(\text{age}, \Delta h; \max(AIS), ISS) \quad (4)$$

建立如下后传播神经网络模型，如图 4 所示，由 3 层组成，即输入层、中间层和输出层。通过调整权重进行学习。网络的输入层代表四种人体和车辆的特征参数，包括人的年龄、人体超出发动机罩前端高度、AIS 最大值 (MAIS) 和 ISS。考虑到车辆碰撞速度的统计规律以及法规限制，敏感的速度界限值包括 40、50、60、70 和 80 km/h，为此用输出层节点代表 8 种不同的碰撞速度范畴，即 20km/h 以下、20~30km/h、31~40 km/h、41~50km/h、51~60 km/h、61~70km/h、71~80 km/h 和 80 km/h 以上。输出为 0 表示碰撞速度位于此范围内的可能性最小，输出为 1 则表示在此范围内的概率最大。

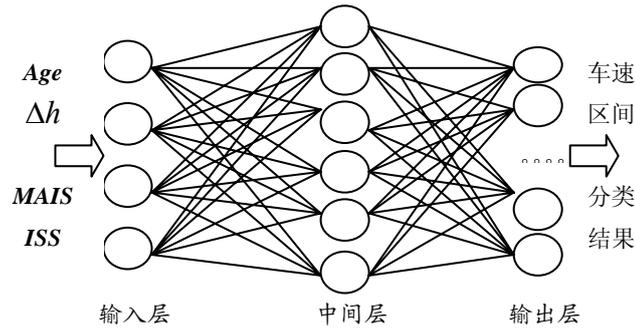


图4 典型轿车正碰行人事故车速的神经网络分类模型

利用已有的可靠的轿车碰撞行人事故数据，将其特征参数作为训练样本，对该神经网络模型进行训练。通过测试组的数据可知该模型的误差值下降至 1% 以下，可以应用于同类型事故中车辆碰撞速度的分类估算及辅助分析。部分样本见表 2。

表2 训练样本（1~11）及测试样本（12~13）

序号	输入节点				输出节点								
	Age	Δh (cm)	MAIS	ISS	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	70	80	2	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	51	85	2	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	26	102	3	14	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	31	85	4	26	0	0	1	0	0	0	0	0	0
5	52	86	5	30	0	0	0	1	0	0	0	0	0
6	74	95	5	35	0	0	0	1	0	0	0	0	0
7	59	94	5	43	0	0	0	0	1	0	0	0	0
8	45	95	5	45	0	0	0	0	1	0	0	0	0
9	32	82	5	30	0	0	0	0	0	1	0	0	0
10	31	85	5	33	0	0	0	0	0	1	0	0	0
11	67	102	5	50	0	0	0	0	0	0	1	0	0
12	30	90	2	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0
13	29	99	5	35	0	0	0	0	0	1	0	0	0

6 事故算例

某夜某时许，一辆某型号轿车由南向北行驶至某路段时，适有一名行人横穿公路，轿车前端将行人撞出，致使行人倒地死亡。分析此轿车的碰撞速度。

根据对事故车辆的调查，轿车与行人接触后，车前部留下撞痕，人体与风挡接触致使风挡玻璃破裂，行人的抛出高度 $h = 0.93 \pm 0.1 m$ 。如图 5 所示，行人的撞出距离为 $x = 18.8 \pm 0.5 m$ 。取路面摩擦系数 $\mu = 0.6 \pm 0.1, g = 9.8 m/s^2$ 。利用式

(1) 的计算方法并结合不确定度分析方法^[8]，可得其碰撞速度的取值范围：

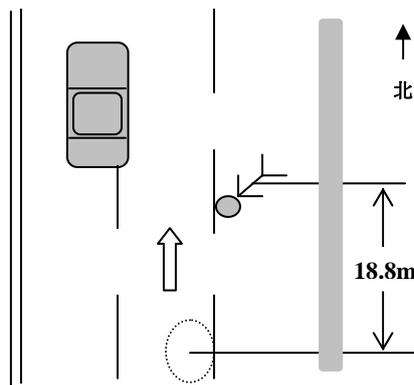


图5 事故现场示意图

$$V = 11.6 \sim 13.4 m/s = 42 \sim 48 km/h \quad (4)$$

此事故中行人的人体损伤程度如表 3 所示：

表3 行人的损伤程度

ISS 分区	损伤情况	最高 AIS	AIS 平方
头颈部	颅骨骨折	5	25
面部	鼻部挫裂伤	1	

胸部	双肋骨骨折	3	9
腹部	皮肤挫伤	1	
四肢	股骨骨折	3	9
体表	挫伤	1	
合计		Max(AIS)=5, ISS=25+9+9=43	

再利用前述人工神经网络模型进行分析, 可得神经网络的输出结果为:

[-0.030796; 0.17982; 0.59458; **0.9996**; 0.011115; 0.053311; 0.0021627; -0.0061202]

由此可见第4类的输出节点数值0.9996最接近于1, 即碰撞速度在此范围内的可能性最大。将神经网络模型的输入参数及分类结果列于表4, 可知与理论计算值接近。

表4 计算结果比较

输入参数	神经网络分类结果	理论计算值
58,1.60,5,43	41~50km/h	42~48 km/h

7 结论

- (1) 在路面痕迹信息参数缺乏时, 依据人体损伤等特征参数可以对轿车碰撞行人事故的车辆碰撞速度数值范围进行大致分类, 辅助进行事故再现分析。
- (2) 选取行人的基本生理参数(性别、年龄、身高)、车辆的基本信息参数(类型、前端高度)和人体损伤程度(AIS、ISS)等相关特征参数作为输入量, 依照统计结果选择8种不同的车辆碰撞速度区间作为输出层, 利用人工神经网络方法建立基于人体损伤的车速分类模型。具体算例表明该方法可以用来分析轿车碰撞行人的速度范围, 其准确程度随训练样本的数量及覆盖广度的增加而提高。
- (3) 人工神经网络擅长数值计算, 适于发挥经验知识的作用, 进行浅层次的经验推理, 可以辅助用于事故再现的分类分析, 今后随着事故案例样本的积累、信息采集的完善, 网络模型通过自学习不断改进, 并在未来的事故分析专家系统中发挥作用。

参考文献

- [1] Eubanks JJ, "Rusty" Haight WR. Pedestrian Involved Traffic Collision Reconstruction Methodology. SAE 921591.
- [2] Otte D. Influence of the Fronthood Length for the Safety of Pedestrains in Car Accidents and Demands to the Safety of Small Vehicles [J]. SAE942232: 1923~1933.
- [3] Mizuno K, Kajzer J. (2000). Head injuries in vehicle-pedestrian impact [J]. SAE2000-01-157.
- [4] 李莉,杨济匡等.汽车碰撞行人交通伤害特点分析[J].汽车工程,2005,27(1):44~46,27
- [5] 林洋[日]著.黄永和 译.实用汽车事故鉴定学[M].北京:人民交通出版社,2001
- [6] 阎平凡,张长水. 人工神经网络与模拟进化计算[M].北京:清华大学出版社,2000
- [7] 韩文朝, 申五一 主编.现代交通创伤诊疗学[M].北京:北京医科大学出版社,2001
- [8] 李一兵,袁泉 等. 车辆碰撞行人交通事故的不确定因素研究[J].中国公路学报, 2004, 17(1): 82~85