

# 考虑可视路表面积的小客车运行速度预测模型

张 驰<sup>1,2</sup>, 闫晓敏<sup>1</sup>, 华贵龙<sup>1</sup>, 熊 丽<sup>1</sup>, 孟 良<sup>1</sup>

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点试验室, 陕西 西安 710064;

2. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075)

**摘 要:**为综合考虑道路平面、纵断面和横断面对小客车运行速度的影响,选用驾驶人可视路表面积为运行速度的研究指标,采用集视频采集技术、GPS 定位技术、高精度车速拾取技术于一体的多功能数据采集仪,记录驾驶人可视路表面积及车速等信息;对采集的单帧彩色视野图像运用线形变换法进行灰度化处理,通过编写改进的 OTSU 算法对灰度图像进行路表和背景二值化分割;最后基于像素行扫描算法提取驾驶人可视路表面积,运用 SPSS 软件进行相关性分析并建立数学预测模型。研究结果表明:驾驶人可视路表面积与车辆运行速度呈正相关关系,两者变化量之间相关系数为 0.676;模型预测值与实际观测值两者相对误差的平均值为 3.88%;采用驾驶人可视路表面积预测运行速度简便、有效,能有效突破目前运行速度预测方法的局限性。

**关键词:**交通工程;运行速度模型;路表面积;OTSU 算法

**中图分类号:**U411

**文献标志码:**A

## Prediction model of operating speed for passenger cars by considering visual area of road surface

ZHANG Chi<sup>1,2</sup>, YAN Xiao-min<sup>1</sup>, HUA Gui-long<sup>1</sup>, XIONG Li<sup>1</sup>, MENG Liang<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. CCCC First Highway Consultants Co. Ltd., Xi'an 710075, Shaanxi, China)

**Abstract:** In order to study the effects of horizontal curve, profile and cross section on vehicle's operating speed, drivers' visual area of road surface was used as an index for evaluation. A multi-functional data acquisition instrument which integrates the technology of video collection, the technology of GPS and high precision speed picking-up was used to gather drivers' visual area of road surface and operating speed. The single frame colorful vision image was treated by graying with weighted algorithm. Using the improved OTSU algorithm for image segmentation drivers' visual area of road surface was extracted based on the line scan algorithm. The correlation between factors and operating speed model were established by SPSS. The results show that the correlation between road surface area and operating speed model is positively, and the correlation coefficient is 0.676. The average value of relative error between prediction value and observed

收稿日期:2015-10-20

基金项目:交通运输部应用基础项目(2014319812170);国家科技支撑计划项目(2014BAG05B01);教育部博士点基金新教师项目(20120205120013);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013G2211005,CHD2011JC048)

作者简介:张 驰(1981-),男,四川宜宾人,长安大学副教授,工学博士,中交第一公路勘察设计研究院有限公司在站博士后,E-mail: zhangchi@chd.edu.cn。

value is 3.88%. The prediction model proposed is easy to manipulate and efficient in working, which can break the limitation of current prediction methods. 7 tabs, 7 figs, 20 refs.

**Key words:** traffic engineering; operating speed model; road surface area; OTSU algorithm

## 0 引言

运行速度作为道路安全研究中最重要概念之一,是驾驶人在多种道路因素作用下的综合反应。以往将独立的三维道路割裂成平、纵、横指标,或将道路平、纵、横指标进行硬性组合,这并不能充分反映道路对驾驶人控速行为的影响,由此建立运行速度预测模型的实用性也受到广泛质疑,因此,从驾驶人控速行为根源出发,寻找控速行为最直接的影响因素,提出一种科学、合理、实用,更接近驾驶人实际行驶速度的预测模型是解决道路安全设计问题的核心技术,也是未来道路安全研究的发展趋势。

从目前国内外的研究成果可知,针对运行速度预测模型的研究主要是通过大量野外实测试验,分析车辆行驶速度与某些道路线形要素之间的关系而展开的,具体包括4个方面:①只考虑了平面线形指标研究运行速度预测模型<sup>[1-3]</sup>;②只考虑了纵断面线形指标研究运行速度预测模型<sup>[4-7]</sup>;③只考虑了横断面参数指标研究运行速度预测模型<sup>[8]</sup>;④只考虑了平、纵断面参数指标研究运行速度预测模型<sup>[9-11]</sup>。由此可见,目前国内外有关运行速度预测模型的建立,指标单一化,独立化较为明显,鲜有学者提出能综合反映道路线形平、纵、横连续变化的指标对运行速度进行研究。众所周知,驾驶人的视觉是驾驶人与道路环境进行信息交换的桥梁,车辆在行驶过程中,驾驶人通过视觉拾取大部分路况信息,然后做出控速决策,而绝大多数路况信息均可由可视路表面积综合反映,因此可初步判定可视路表面积是驾驶人控速决策的直接影响因素。基于此,本文从驾驶人视觉的角度出发,将道路看成独立的三维实体,采用 OTSU 算法对灰度图像进行路表和背景二值化分割,基于道路可视路表面积量化道路平、纵、横指标对运行速度的影响,建立相应的运行速度预测模型,一方面满足了用路者的心理生理需求,另一方面可以避免道路平、纵、横指标的割裂以及组合不当模糊车辆运行速度的变化规律,为道路安全研究提

供了参考。

## 1 可视路表面积与车辆运行速度的关系

### 1.1 可视路表面积

驾驶人可视路表面积定义为同向可视的行车道、路缘带与路肩区域的面积之和,是平面、纵断面和横断面综合反映道路的一个设计元素,可以用来表征道路线形设计的一致性和连续性,防止出现视觉上的突变和中断。如图1所示,白色闭合实线之间的区域即为驾驶人可视路表面积。为了快速、准确地得到可视路表面积,本文采用驾驶人可视路表区域的总像素点来表示路表面积。



图1 驾驶人可视路表面积

Fig. 1 Drivers' visual area of road surface

### 1.2 可视路表面积对运行速度的影响

驾驶人在驾驶车辆的过程中主要依靠视觉获取道路信息,经过大脑的分析后改变其驾驶车辆的速度大小和方向。三维可视路表面积是道路信息的关键组成部分,并且是道路平面、纵断面和横断面的综合反映,如下页图2、图3和表1所示,道路平、纵、横指标的改变可以直接体现在三维可视路表面积上。当道路的立体线形为凹形曲线时,驾驶人的可视路表面积为362 238 px,在6种立体线形中面积最大,即此时驾驶人的视野最为开阔;当道路的立体线形为凸形曲线时,驾驶人的可视路表面积为348 995 px,在6种立体线形中面积最小,即此时驾驶人的视野条件最差。同时前者速度普遍较后者大,与事实相符。

结合许金良等对车辆运行速度预测模型的研究成果可知<sup>[5-7]</sup>,道路平、纵、横指标与运行速度具有较强的相关性,同时道路平、纵、横指标与可视

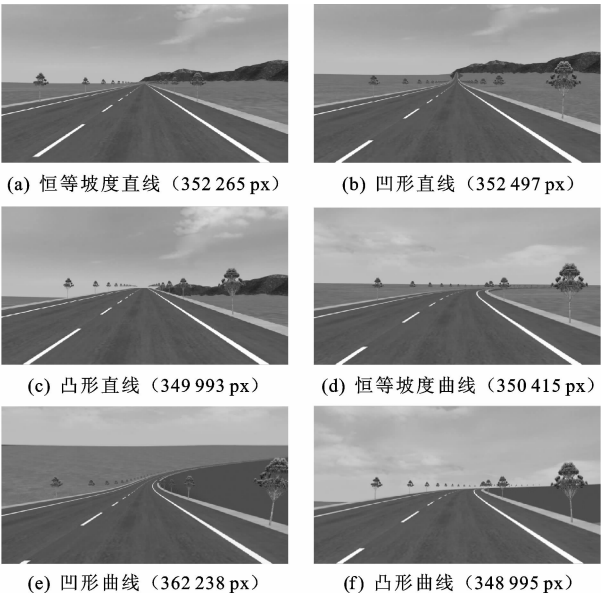


图 2 立体线形要素

Fig. 2 Alignment element of three-dimension

路表面积也具有很强的相关性,因此,可以通过使用三维可视路表面积替代道路平面、纵断面和横断面等指标对运行速度进行研究。

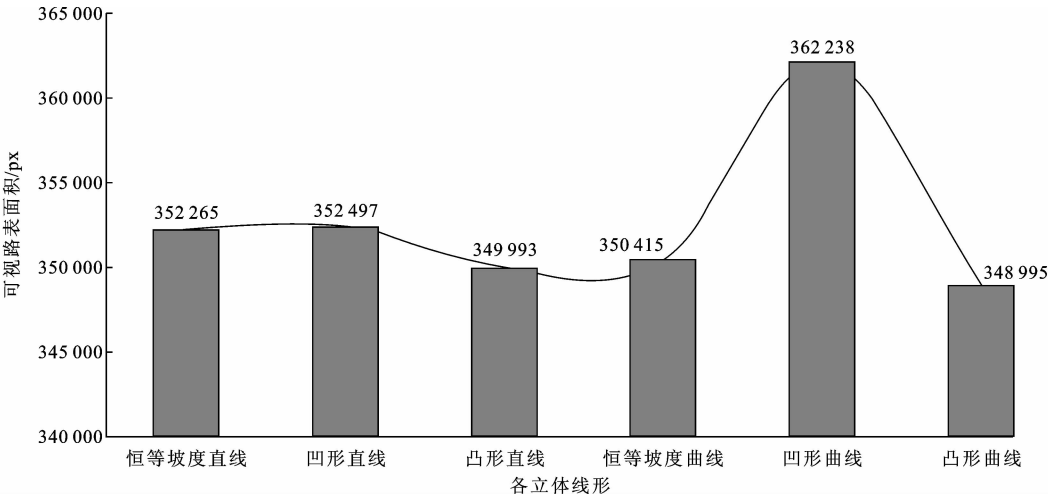


图 3 各立体线形要素参数

Fig. 3 Parameters of three-dimensional alignment element

表 1 各立体线形要素参数

Tab. 1 Parameters of three-dimensional alignment element

参数	恒等坡度 度直线	凹形 直线	凸形 直线	恒等坡 度曲线	凹形 曲线	凸形 曲线
平曲线半径/m	$\infty$	$\infty$	$\infty$	400	400	400
竖曲线半径/m	$\infty$	3 000	4 500	$\infty$	3 000	4 500
纵坡/%	0.5	3.0	3.0	0.5	3.0	3.0

2.2 试验驾驶人的选择

本试验驾驶人是以自愿的方式招募而来,且经过了各种考核项目严格筛选。所选驾驶人身体健

2 可视路表面积与控速行为试验设计

驾驶人的控速行为是一个信息感知与速度控制反复进行的过程,驾驶人根据其感知的信息不断对控速行为进行修正,从而维持车辆持续安全的行驶。通过上述定性分析可以看出,车辆运行速度与驾驶人可视路表面积具有一定的相关性,为了定量地研究二者之间的数学关系,更加准确可靠地描述驾驶人可视路表面积对其控速行为的影响,仍需对大量运行速度以及与其对应的可视路表面积等基础数据进行深层次的研究。

2.1 试验环境

选择线形比较丰富,平、纵、横指标变化幅度较大的 G5 京昆(北京—昆明)高速公路陕西境内的西汉线(西安—汉中上行和下行方向)为试验对象,该路段设计速度为 80 km/h,由于交通流较小、道路条件良好,车辆能够自由行驶。在此高速公路上行驶的驾驶人可视路表面积以及行车速度变化频率高且范围大,运行速度的波动几乎均由可视路表面积变化所致,具体道路参数如表 2 所示。

表 2 试验路段线形参数

Tab. 2 Parameters of the experiment road

试验路段桩号	K44+700~K54+400
地形	山岭重丘区
设计速度/(km·h <sup>-1</sup> )	80
平曲线最小半径/m	252
最大纵坡/%	3.9
竖曲线最小半径/m	8 470
最大坡长/m	900
路基宽度/m	24.5
平曲线/段	34
竖曲线/段	40

康,无视觉、听觉障碍以及无心脏病、心脑血管、皮肤等疾病。为了尽可能减少外在因素的干扰,被试驾驶人裸视力在1.2以上。所选驾驶人的年龄为40岁左右并有15年的驾龄。同时为了方便驾驶人操作,使其与驾驶环境更加协调,试验结果更具普适性,被试驾驶人的身高为1.75 m左右,驾驶车

辆时,驾驶人目高保持在1.2 m附近。

2.3 试验仪器

本试验采用集视频采集技术、GPS 定位技术、高精度车速拾取技术于一体的多功能数据采集仪,仪器参数如表 3 所示。

表 3 多功能数据采集仪参数

Tab. 3 Parameters of multi-functional data acquisition instrument

仪器参数	芯片方案	SQ68S
视频采集仪	图像分辨率	1 280×720
	存储帧率/fps	30
	视讯/p	720
	存储格式	AVI
GPS 定位仪	定位精准/m	≤10
	接收灵敏度/dBm	159
	接收频率/Hz	1.575 42
车速记录仪	K-Band 接收频率范围/GHz	22.8~24.5
	K-Band 接收频率范围/GHz	33.0~36.0
	感度值/dB	132±2

2.4 试验方法

试验车型为现代悦动轿车,车身结构为 4 门 5 座 3 厢车,最高时速为 175 km/h。行车前,将设备安装在与驾驶人视野平行且同高的副驾驶座位上,并且不告知驾驶人设备的用途等信息,便于能够实时准确地采集驾驶人可视路表图像、车速以及位置等信息,同时不会干扰驾驶人以正常状态行使。仪器设备调试稳定后,驾驶人启动车辆,保持正常行驶。试验结束后依据数据整合技术将该

段道路设计文件导入设备,届时车辆运行速度,车辆所处位置的经纬度、道路桩号、道路纵坡、道路平曲线半径以及道路地形图均可以实时地呈现在显示器上。如图 4 右下角表格所示,灰色是车辆已经驶过的圆曲线路段,浅灰色是车辆此时所处的圆曲线路段,白色是即将行驶的圆曲线路段。可以看出,此时车辆运行速度为 84.8 km/h,车辆位置为东经 108.442 7°、北纬33.640 2°、桩号 K49+840、纵坡 0.50%、平曲线半径 540 m。



图 4 数据整合技术软件界面

Fig. 4 Software interface of data integration technology

### 3 数据处理

#### 3.1 数据筛选

为了准确反映可视路表面积对小客车运行速度的影响,排除其他因素的干扰,本文依据车辆行驶在自由流状态下选取相应的数据<sup>[12]</sup>。数据选取路段囊括具有恒等坡度的直线、凹形直线、凸形直线、具有恒等坡度的曲线、凹形曲线、凸形曲线以及不同横断面宽度的所有立体线形要素的路段,有利于进行试验数据多样性的分析。具体筛选依据如下:

(1)若试验车辆前方有车辆,车辆会对该段路表进行一定程度的遮挡,此时驾驶人可视路表面积无法准确地获取,因此应将此类数据予以剔除;

(2)若视线黑暗或者光线过强,致使视野采集设备采集的视野模糊不清,无法准确地识别出道路结构,试验数据筛选阶段也应将此类数据予以剔除;

(3)车辆进入隧道路段时,一方面视野黑暗,无法采集视野数据,另一方面隧道内 GPS 定位设备信号差,车速获取精度低,因此剔除车辆在隧道路段的数据。

#### 3.2 可视路表面积提取

设备记录的驾驶人可视路表视野数据以连续视频的形式保存,直接从视频中计算可视路表面积较为困难,因此可以从视频中直接截取单帧图片进行处理,提取可视路表面积。

##### 3.2.1 灰度变换

图像灰度变换是将彩色图像转变成灰度图像,本文选取加权平均值算法将彩色图像进行灰度转换<sup>[13]</sup>。算法的计算公式为

$$g = W_R R + W_G G + W_B B \quad (1)$$

式中: $g$  为灰度图像中某个像素的灰度值; $R$ 、 $G$ 、 $B$  分别为彩色图像中对应像素的红、绿、蓝分量; $W_R$ 、 $W_G$ 、 $W_B$  分别为红、绿、蓝分量的权值,并且满足  $W_R + W_G + W_B = 1$ 。

当  $W_R = 0.299$ ,  $W_G = 0.587$ ,  $W_B = 0.114$  时所得灰度图像最符合人眼的视觉感受,因此本文选用该值。

##### 3.2.2 图像阈值化分割

图像分割是指把图像分割成各具特点的区域并提取出目标敏感区的技術过程。本文基于像素灰度值的不连续性和相似性采用阈值分割法对灰度图像进行阈值二值化分割。有关阈值  $T$  的选取,本文参考 OTSU 算法<sup>[14]</sup>,在 MATLAB 的 m 文件中编写图像阈值化分割代码,实现灰度图像阈值分割。若

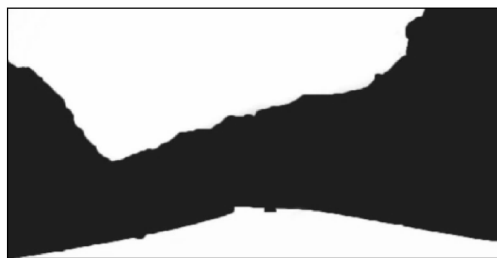
原始图像为  $f(x, y)$ ,变换后的二值图像为  $g(x, y)$ ,则阈值二值化方法的过程可表示为

$$g(x, y) = \begin{cases} 0 & f(x, y) < T \\ 1 & f(x, y) > T \end{cases} \quad (2)$$

图 5(b)为采用改进的 OTSU 算法对图 5(a)中灰度图像进行阈值分割所得的二值图像。



(a) 灰度图像



(b) 二值图像

图 5 灰度图像和二值图像

Fig. 5 Grey image and binary image

##### 3.2.3 基于行扫描算法提取路表面积

图像二值化后,天空和道路的灰度值相同,但不难发现道路和天空被山脉植被完全分离,因此,可以通过 MATLAB 编程来实现从下往上逐行扫描图像,根据图像的灰度值来判断可视路表面积。当扫描到整行为山脉植被灰度值时,停止扫描,统计目标灰度值像素点的个数,计算可视路表面积。

为了对驾驶人可视路表面积进行快速便捷地提取,本文开发了良好的可视路表面积提取软件<sup>[15]</sup>。

### 4 相关性分析

驾驶人加减速操作可分为 3 个阶段,即感知阶段、判断决策阶段和执行动作控制车辆阶段。在这一过程中驾驶人通过视觉感知路面信息,再由中枢神经系统结合驾驶经验和技能,经过分析、做出判断,确定有利于汽车安全驾驶的加减速措施。最后由运动器官依据判断决策做出实际加减速动作。根据“预瞄最优化加速度模型”确定驾驶人滞后参数以及前视时间<sup>[16]</sup>,结合本试验的特殊性,将这一过程驾驶人所需要的总时间定为 2 s<sup>[17-19]</sup>。即加减速时,速度的真实值为可视路表面积之后 2 s 时的速度值。

图 6 为采用逐行扫描法计算各行车断面处路表面积以及与该处运行速度相对应的散点图。

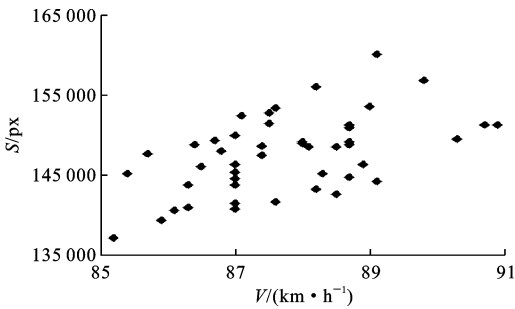


图 6 可视路表面积与车辆运行速度散点

Fig. 6 Scatter of drivers' visual area and operating speed

由图 6 可以定性得出以下结论:

- (1)可视路表面积  $S$  与运行速度  $V$  的变化趋势基本一致,由此可初步判断车辆运行速度  $V$  与可视路表面积  $S$  具有一定的相关性;
- (2)运行速度  $V$  随着可视路表面积  $S$  的增加表现出递增的趋势,说明二者具有正相关性。

在以上结论的基础上使用 SPSS 数据分析软件进行相关性定量分析。由于两变量的分布未知,属于非参数统计,因此本文采用 Spearman 相关性分析。如表 4 所示,运行速度  $V$  与可视路表面积  $S$  之间的相关系数  $R$  为 0.525,达到了显著水平。同时检验值  $P<0.01$ ,为差异性显著。由此可以看出,车辆行驶过程中驾驶人可视路表面积对车辆的运行速度有显著影响,当驾驶人可视路表面积降低(增加)时,势必引起驾驶人做出减速(加速)动作,以期将车辆的速度控制在驾驶人可接受的范围内。

表 4 V-S 相关性分析结果

Tab. 4 Results of correlation analysis to V-S

Spearman 相关分析		V	S
V	相关系数	1.000	0.525
	Sig. (双侧)		0.002
	N	46	46
S	相关系数	0.525	1.000
	Sig. (双侧)	0.002	
	N	46	46

注:置信度(双侧)为 0.01;N 为自由度。

## 5 小客车运行速度预测模型

为了避免驾驶人的习惯、对路况的适应性以及其他环境因素的不同对运行速度绝对值造成影响,增强研究结果的可靠性以及普适性,以相邻断面可视路表面积变化值  $\Delta S$  为自变量,相邻断面小客车运行速度变化值  $\Delta V$  为因变量,建立二者之间的数学关系,具体数学预测模型为

$$\Delta V=f(\Delta S) \quad (3)$$

利用 SPSS 软件进行回归分析,采用二次多项式进行拟合,建立了  $\Delta S$  与  $\Delta V$  的数学关系,参数的置信水平小于 0.01,置信度达到 99%,数学模型为

$$\Delta V=0.0026 \Delta S^2+0.062 \Delta S-0.0088 \quad R^2=0.676 \quad (4)$$

$$V=V_0+\Delta V=V_0+0.0026 \Delta S^2+0.062 \Delta S-0.0088 \quad (5)$$

式中: $V_0$  为上一断面车辆的运行速度(m/s); $R^2$  为判定系数。

由于在实际公路行驶中,车辆的行驶速度不可能无限地增长或降低,因此,可将最高速度与最低速度之比( $V_{\max } / V_{\min }$ )界限作为约束条件。根据《公路项目安全性评价指南》<sup>[7,11]</sup>中有关设计速度  $V_d$  与运行速度协调性的规定,同一路段设计速度与运行速度差值大于 20 km/h 时协调性差,应根据文献[11]的规定对该路段的相关技术指标进行安全性验算。同时结合文献[20],可以得到小客车的  $V_{\max } / V_{\min }$  界限,如表 5 所示,因此,小客车运行速度预测模型的最终形式为

$$V=\left\{\begin{array}{ll} V_{\max } & V \geq V_{\max } \\ V_0+0.0026 \Delta S^2+0.062 \Delta S-0.0088 & V_{\min } < V < V_{\max } \\ V_{\min } & V \leq V_{\min } \end{array}\right. \quad (6)$$

## 6 运行速度预测模型实例验证

在本文研究过程中,实车试验往返路段总长约 200 km,因此在试验路段和验证路段车辆均达到了平稳状态。为了准确提取可视路表面积,保证前方

表 5 各种类型公路小客车的  $V_{\max } / V_{\min }$  的取值

Tab. 5 Value of passenger cars'  $V_{\max } / V_{\min }$  for various types of roads

km/h

速度	6 车道高速公路		4 车道					双车道公路					单车道
			高速公路			一级公路							
$V_d$	120	100	100	80	60	80	60	80	60	40	30	20	20
$V_{\max}$	145	135	130	110	90	110	90	115	105	88	78	70	60
$V_{\min}$	90	75	75	60	45	60	45	60	45	30	22	15	15

路表上无车辆,本文选择的试验路段和验证路段,前方均无车辆干扰。同时试验路段和验证路段应将 6 种立体线形要素全部包含在内。选择西汉高速公路 K5+500~K11+400 仙人崖隧道(N34°00′00.19″,E108°32′03.37″)至纸坊隧道(N33°56′33.14″,E108°31′21.80″)之间道路线形比较丰富的非隧道路段数据(表 6),来验证数学模型式(5)的准确性,如表 7 所示。相对误差是绝对误差与测量值或多次

测量平均值的比值,因此可以采用相对预测误差的平均值来衡量模型的精度,比较不同测量结果的可靠性,相对预测误差平均值  $e$  的计算公式为

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - V_i^*) / V_i^*}{n}$$

(7)

式中: $V_i$  为第  $i$  个样本运行速度预测值; $V_i^*$  为第  $i$  个样本运行速度实测值; $n$  为观测的样本量。

表 6 模型实例验证路段线形参数

Tab. 6 Parameters of experiment road to verify the model

试验路段桩号	K5+500~K11+400	试验路段桩号	K5+500~K11+400
地形	山岭重丘区	最大纵坡/%	4
设计速度/(km·h <sup>-1</sup> )	80	最小纵坡/%	0.6
路基宽度/m	24.5	竖曲线最大半径/m	33 000
平曲线/段	18	竖曲线最小半径/m	12 000
竖曲线/段	10	竖曲线最大长度/m	416
平曲线最大半径/m	2 460	竖曲线最小长度/m	220
平曲线最小半径/m	170	最大坡长/m	890
平曲线最大长度/m	450	最小坡长/m	350
平曲线最小长度/m	189		

表 7 运行速度实测值与预测值

Tab. 7 Measured values and predicted values of operating speed

断面序号	S/px	$V_i^*/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	$V_i/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	断面序号	S/px	$V_i^*/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	$V_i/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$
1	150 077	84.7	84.7	18	163 020	90.8	93.7
2	151 388	85.7	85.0	19	166 625	93.0	94.6
3	152 371	87.0	85.2	20	169 083	96.3	95.3
4	155 156	88.3	85.8	21	169 738	97.8	95.1
5	153 518	87.3	85.5	22	174 817	99.8	96.3
6	154 009	88.2	85.6	23	175 800	99.3	96.4
7	154 828	89.1	85.7	24	169 738	98.6	96.1
8	153 518	88.7	85.4	25	158 433	88.3	94.8
9	161 218	89.7	87.6	26	153 026	86.1	94.4
10	161 382	90.2	87.6	27	156 139	87.5	94.2
11	174 981	93.6	92.4	28	154 665	86.6	94.7
12	175 309	95.0	92.5	29	155 148	86.4	94.3
13	186 286	91.1	96.0	30	155 157	92.2	94.1
14	187 105	98.5	96.1	31	152 863	85.6	93.9
15	178 094	96.9	94.8	32	150 077	86.1	93.4
16	161 874	93.5	93.8	33	149 258	87.9	93.8
17	163 676	91.9	94.2				

(1)经计算,运行速度实测值和运行速度预测值相对误差的平均值为 3.88%,小于 5%,说明本文建立的数学模型满足精度要求。最大相对误差为 9.67%,最大绝对误差为 8.34 km/h,即模型计算运行速度与实测运行速度差值均小于 10 km/h,说明本文建立的运行速度预测模型可以用于 6 种立体线

形要素路段车辆稳定运行速度的预测,采用运行速度设计法选取技术指标时,设计的路线满足安全评价的要求。

(2)如下页图 7 所示,实测运行速度与预测运行速度变化趋势基本一致,由此可见模型预测结果与实际观测结果较为吻合。基于驾驶人可视路表面积

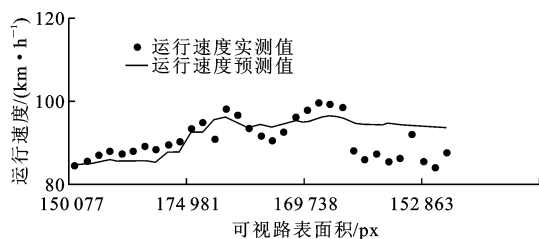


图7 小客车运行速度预测值与实测值

Fig. 7 Measured values and predicted value of cars' operating speed

的小客车运行速度预测模型具有较好的精度,可以借助本文的研究思路将模型应用到其他等级的公路上,绘制出不同道路等级下的运行速度变化图。

(3)误差存在的主要原因有:①在不同道路条件下,驾驶人对速度的适应性不同;②数据采集仪器精度以及采集延迟的影响;③车辆的运行速度是驾驶人在对道路状况和周围环境综合判断后采取的实际行驶速度,为了减小模型的复杂性,本文只考虑了道路状况对车辆运行速度的影响。

## 7 结 语

(1)驾驶人的视觉是驾驶人与道路环境进行信息交换的桥梁,直接影响着控速行为决策。本文基于此突破传统运行速度研究指标选取的局限性,采用可视路表面积为运行速度研究指标,建立了运行速度预测模型,经实例验证相对误差的平均值为3.88%,可为道路安全性评价提供良好的参考价值,为基于驾驶人特性研究车辆运行速度奠定了基础。

(2)本文开发的可视路表面积提取软件只能处理和提取单帧彩色视野图像,还不能处理连续的可视路表面积视野图像,因此一方面大大降低了数据提取效率,另一方面采用点拟合小客车的运行速度与可视路表面积之间的关系难免会与实际情况有所差别。后续应开发出能够处理视频图像的可视路表面积提取软件,同时可进一步研究大货车可视路表面积与运行速度的关系,以便更加深入地研究可视路表面积对交通安全的影响。

(3)由于隧道路段视线视野黑暗,目前设备无法对可视路表面积进行准确提取。同时该路段GPS定位、车速获取精度均较差,因此本文研究成果适用于高速公路非隧道路段,后续应专门对隧道路段进行深入的研究。

## 参考文献:

## References:

[1] MCFADDEN J, ELEFTERIADOU L. Evaluating

horizontal alignment design consistency of two-lane rural highways; development of new procedure[J]. Journal of the Transportation Research Board, 2000 (1737): 9-17.

[2] 许金良,胡圣能,杨宏志.基于曲率变化率的运行速度模型[J].长安大学学报:自然科学版,2011,31(5):1-6.

XU Jin-liang, HU Sheng-neng, YANG Hong-zhi. Operating speed prediction models based on curvature changing rate[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2011, 31(5): 1-6. (in Chinese)

[3] 杨宏志,张景涛,许金良.基于运行速度的双车道公路平面线形安全评价[J].公路交通科技,2010,27(9):127-131.

YANG Hong-zhi, ZHANG Jing-tao, XU Jin-liang. Safety evaluation of horizontal alignment of two lane highway based on running speed [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27(9): 127-131. (in Chinese)

[4] GIBREEL G M, EASA S M, EL-DIMEERY I A. Prediction of operating speed on three-dimensional highway alignments[J]. Journal of Transportation Engineering, 2001, 127(1): 21-30.

[5] 许金良,叶亚丽,苏英平,等.双车道二级公路纵坡段车辆运行速度预测模型[J].中国公路学报,2008,21(6):31-36.

XU Jin-liang, YE Ya-li, SU Ying-ping, et al. Operating speed prediction model on gradient section for two-lane secondary highway [J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(6): 31-36. (in Chinese)

[6] 周荣贵,孙家凤,吴万阳,等.高速公路纵坡坡度与运行速度的关系[J].公路交通科技,2003,20(4):34-37.

ZHOU Rong-gui, SUN Jia-feng, WU Wan-yang, et al. Relationship between running speed and gradient of expressway [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20(4): 34-37. (in Chinese)

[7] 邓云潮.公路长大下坡路段小客车运行速度预测模型[J].长安大学学报:自然科学版,2009,29(4):43-47.

DENG Yun-chao. Speed prediction model of free-flowing passenger car on long and steep downgrades [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2009, 29(4): 43-47. (in Chinese)

[8] HANSEN G, GARRICK N W, IVAN J N, et al.



- Variation in free-flow speed due to roadway type and roadside environment [C]//TRB. Transportation Research Board 86th Annual Meeting. Washington DC: TRB, 2007; 1-13.
- [9] 陈永胜. 高速公路安全设计基础理论及关键技术研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2001.  
CHEN Yong-sheng. Research on fundamental theory and crucial method of freeway safety design[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2001. (in Chinese)
- [10] 杨少伟, 许金良, 李 伟, 等. 路线设计中车辆行驶速度预测模型[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2003, 23(3): 53-55.  
YANG Shao-wei, XU Jin ling, LI Wei, et al. Prediction model of vehicle speed for highway route design [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(3): 53-55. (in Chinese)
- [11] JTG/T B05—2004, 公路项目安全性评价指南 [S]. JTG/T B05—2004, Guidelines for safety audit of highway [S]. (in Chinese)
- [12] 杨少伟. 道路勘测设计[M]. 第 3 版. 北京: 人民交通出版社, 2009.  
YANG Shao-wei. Road survey and design[M]. 3rd ed. Beijing: China Communications Press. (in Chinese)
- [13] 周长发. 精通 Visual C++ 图像处理编程[M]. 第 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2006.  
ZHOU Chang-fa. Proficient in Visual C++ image processing programming[M]. 3rd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006. (in Chinese)
- [14] OTSU N. A threshold selection method from gray level histograms[J]. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [15] 张 驰, 华贵龙, 孟 良, 等. 驾驶员路面视野面积提取与分析软件: 中国, 2015SR095741 [P]. 2015-06-02.
- ZHANG Chi, HUA Gui-long, MENG Liang, et al. Extraction and analysis software of driver's view area of the road: China, 2015SR095741 [P]. 2015-06-02. (in Chinese)
- [16] 郭孔辉. 汽车操纵动力学[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991.  
GUO Kong-hui. Vehicle handling dynamics [M]. Changchun: Jilin Science & Technology Press, 1991. (in Chinese)
- [17] 周立军. 基于驾驶员信息处理特性的跟驰及换道模型研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.  
ZHOU Li-jun. Research on car-following and lane-changing model based on driver's information processing characteristics[D]. Changchun: Jilin University, 2008. (in Chinese)
- [18] 张展宏. 基于模拟器的驾驶员应急状态下刹车反应时间的研究[J]. 华北科技学院学报, 2009, 6(3): 27-30.  
ZHANG Zhan-hong. Study on the driver critical reaction time in a braking response upon driver simulator[J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2009, 6(3): 27-30. (in Chinese)
- [19] 司银霞. 限速标志对驾驶行为影响研究[D]. 长春: 吉林大学, 2006.  
SI Yin-xia. Study on the influence of speed limit signs upon drivers' behavior [D]. Changchun: Jilin University, 2006. (in Chinese)
- [20] 徐 进, 邵毅明, 彭其渊, 等. 大客车和小客车在各种类型公路上的连续行驶速度工况分析[J]. 交通科学与工程, 2012, 28(4): 45-58.  
XU Jin, SHAO Yi-ming, PENG Qi-yuan, et al. Driving speed investigation of single car or bus on different type of highways[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2012, 28(4): 45-58. (in Chinese)