

# 机动车行驶参数采集与驾驶行为量化软件

彭 琨,张立成,周 洲  
(长安大学 信息工程学院,陕西 西安 710064)

**摘 要:**针对当前能源短缺和空气污染问题,以节能减排为目的的生态驾驶研究愈发重要,驾驶行为量化评估是生态驾驶领域的重要研究内容之一。基于 .Net 和 C#开发了可实时采集机动车行驶参数及量化驾驶行为的上位机应用软件,软件通过串行方式与车载 OBD 通信,实时解析读取车辆速度、发动机转速、瞬时油耗、百公里油耗、里程等行驶参数,并完成预处理、可视化、存储等功能。在此基础上,提出了基于车辆速度方差、加速度方差的驾驶行为量化因子,该因子与燃油消耗近似线性关系。经过对该量化因子的归一化处理,得到驾驶行为量化评分,定量地评估驾驶行为经济性。实验表明,开发的软件界面友好,使用方便且稳定可靠,提出的驾驶行为量化因子可有效地反映驾驶员的经济驾驶程度。

**关键词:**应用软件;量化评估;驾驶行为;行驶参数采集;车载自动诊断系统;.NET

中图分类号:TP311.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2021)06-0129-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2021.06.023

## Software for Collecting Driving Parameters and Quantifying Driving Behaviors of Power-driven Vehicles

PENG Kun,ZHANG Li-cheng,ZHOU Zhou  
(School of Information Engineering,Chang'an University,Xi'an 710064,China)

**Abstract:** Aiming at the current problems of energy shortage and air pollution, ecological driving research for the purpose of energy saving and emission reduction is becoming more and more important. The quantitative evaluation of driving behaviors is one of the hot research interests in the field of ecological driving. Based on .Net and C#, an application software running in a host computer that can collect the driving parameters of power-driven vehicles and quantify driving behaviors in real time is developed. The software communicates with the on board diagnostics (OBD) in a serial manner to analyze and read the vehicle speed, engine speed, instantaneous fuel consumption, fuel consumption per one hundred kilometers, mileage and other driving parameters, and complete the functions of preprocessing, visualization, storage and so on. On this basis, a driving behavior quantization factor based on vehicle speed variance and acceleration variance is proposed, which is approximately linearly related to fuel consumption. After normalizing the quantization factor, a quantitative score for driving behavior is obtained, which quantitatively evaluates the economics of driving behavior. Experiment shows that the developed software is easy to use and stable and reliable with a friendly interface. The proposed driving behavior quantitative factor can effectively reflect the driver's economic driving degree.

**Key words:** application software; quantitative evaluation; driving behavior; driving parameter collection; on-board diagnostic;.NET

## 0 引言

能源短缺和空气污染问题已经成为全球性的焦点问题,交通运输业是终端能源消耗型行业,是能源消耗最快、最多的行业之一,也是世界第二大 CO<sub>2</sub> 排放源<sup>[1-2]</sup>。随着中国社会经济飞速发展和交通运输业的进步,机动车保有量呈现持续快速增长态势,伴随而来的尾气排放和能源消耗问题也日益严重。因此,节省运输成本,提高燃油经济性,减少尾气排放,控制和减少燃油消耗具有十分重要的现实意义。

以节能减排为目的的生态驾驶研究为能源短缺和空气污染问题带来了新的思路<sup>[3]</sup>。有研究表明,驾驶行为对燃油经济性的影响很大,De. Vlieger 等人<sup>[4]</sup>研究发现,在相同路况下,激进驾驶的耗油会多于普通驾驶,排放则更为明显。徐志刚等人<sup>[5]</sup>研究重型卡车油耗与驾驶行为关系时发现,巡航和减速行为消耗的燃油较低,加速或者速度剧烈波动消耗的油耗较高。以上研究对生态驾驶行为的评估有指导意义,但是这些研究基本是定性地描述了驾驶行为与燃油经济性的关

收稿日期:2020-08-09

修回日期:2020-12-11

基金项目:国家自然科学基金面上项目(61973045);国家重点研发计划课题(2019YFB1600100)

作者简介:彭 琨(1997-),男,硕士研究生,研究方向为机动车生态驾驶。

系。文献[6]通过 Neuroscan 脑电采集装置记录实验人员在驾驶模拟过程中的脑电数据,通过机器学习的方法进行数据分析,研究脑电数据和驾驶行为数据间的关系,对驾驶行为状态进行分类和预测。Wang Xin 等人<sup>[7]</sup>提出了考虑 Jerk 的驾驶行为量化评估方法。该方法以 51 370 段、累计 3 600 万秒的离线行车轨迹大数据作为总体样本,分析了行车加速度和 Jerk 随速度的统计特征,得到加速度方差和 Jerk 方差随速度的变化规律,在此基础上建立了驾驶不稳定性的量化算法。该方法通过 Jerk 对一段工况进行分类,计算该工况中不稳定驾驶时长占总时长的百分比作为不稳定性分数,依此对驾驶行为量化评估。该研究虽定量给出了驾驶行为不确定性与燃油经济性的关系,但是需要大量的离线数据作为总体,基于统计特征,得到正常驾驶的特征指标,无法为驾驶员在行驶途中提供评分参考,及时改善驾驶行为。

还有一些学者提出最优速度推荐算法实现节能,Almanna<sup>[8]</sup>通过建立路测设施到车辆(vehicle-to-infrastructure communication, V2I)的通信机制,将最佳行驶速度推送给驾驶员,来实现交叉口场景下的节能减排。实验结果表明,通过 V2I 推送最佳速度比没有 V2I 机制的节省约 19% 的油耗量。但是目前为止,网联汽车的研究还处于实验室或者封闭场地下的试验阶段,大部分在用车辆都还是在非网联环境下运行,因此,开发面向非网联车辆行驶参数采集软件是进行驾驶行为量化评估的基础,也是当下生态驾驶研究的重要实践。

目前已经有多种方法实现车辆行驶参数的采集,文献[9]设计了一种基于 STM32 的车辆运行数据采集系统,系统包括采集端、控制器局域网(controller area network, CAN)通信、PC 端,通过加速度计、陀螺仪等传感器采集车辆行驶参数,并通过串口通信与上位机交互。文献[10]采用 TMS320F28335 型数字处理器设计了基于 CAN 总线的电动汽车数据采集系统,能够完成对电压、转速等信号的采集工作。根据国际标准 ISO 15031 的要求<sup>[11]</sup>,现代汽车配备车载自动诊断系统(on-board diagnostic, OBD)接口,文献[12-14]通过 OBD 实现了车辆行驶参数的采集。

基于 OBD 采集车辆行驶参数具有结构简单、成本低、数据准确等优势。该文首先采用第二代车载诊断系统(the second on-board diagnostics, OBD-II)便携式测量仪,基于 .Net 平台,设计开发了乘用车行驶参数采集与分析软件。该软件具有对 OBD-II 输出的数据进行实时解析,可视化展现、存储等功能。其次,在实时采集的行驶参数基础上,研究了速度和加速度与油耗之间的关系,提出了一种可用作评价驾驶行为的量

化因子。该因子可定量地描述驾驶行为经济性程度,并可依此进行评估打分,定量评估一个驾驶员的驾驶行为。

## 1 系统结构及工作流程

### 1.1 系统结构

系统结构分为四部分:车辆电子控制单元(electronic control unit, ECU)、OBD 接口、信号解码转换传输器和上位机软件。汽车 OBD 是解码器连接车辆电子控制单元的接口,信号解码转换传输器包括 G20 解码器和 RS232-USB 转换器, G20 解码器一端与 OBD 车载诊断接口相连, G20 解码器另一端与 RS232-USB 接口转换器相连, RS232-USB 接口转换器另一端与笔记本 USB 接口相连。车辆启动后,其发动机转速、油耗、速度、里程等行驶参数以串行方式实时传输到上位机,上位机软件根据 G20 解码器的通讯协议对实时数据进行解析,并实时显示行车参数信息及分析结果。系统结构如图 1 所示。

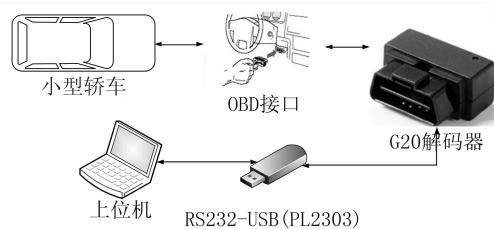


图 1 系统结构

OBD 接口包括 16 针引脚,通常这 16 针引脚分两行排列,上下各 8 针。其中 2,4,5,6,7,10,14,15,16 针脚具体对应功能在 ISO 15031 中已经做了明确定义;1,3,8,9,11,12,13 针脚由各个汽车厂家自定义。依据 ISO 15031, PIN 6, 14 分别为 CAN high, CAN low,该路 CAN 通道通常为动力 CAN,发动机管理系统(engine management system, EMS)便是该 CAN 通道上的节点,借助该 CAN 便可实现行车参数的监测监控。由于 CAN 通讯为总线式通讯,连接在 CAN 通道上的控制器可以采集到总线上所有 CAN 报文,也可以向总线发送符合 CAN 规范的报文。

### 1.2 系统工作流程

当系统各部件连接完成后,即完成了系统工作前的准备工作。软件启动后,首先要进行串口配置(串口号、波特率、停止位等),然后录入驾驶员信息(个人信息及驾龄等),或者从已建立的驾驶员信息库选择某驾驶员及其历史驾驶数据。开始工作后,上位机软件向串口发送获取数据命令,当串口缓冲区有指定字节数时,即可触发数据读取事件。此时软件各个工作线程协同工作,分别完成数据解析、可视化、量化因子实时显示、数据存储等任务,软件界面将显示各行车参

数值。如需结束实验,可点击停止实验按钮关闭串口,车辆熄火。具体工作流程如图2所示。

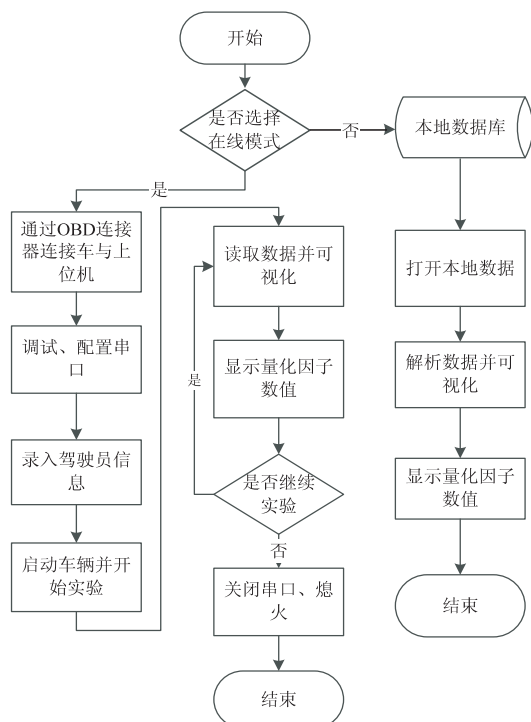


图2 工作流程

### 1.3 软件功能设计

上位机软件设计采用高级程序设计语言 C#, 该语言是面向对象的, 运行于 .NET Framework。设计的软件包含驾驶员个人信息维护、串行通信参数配置、数据解析可视化显示、历史数据复现和储存等功能, 具体如下:

(1) 驾驶员个人信息维护功能, 包括姓名、年龄、性别、车龄等。

(2) 串行通信参数配置功能, 包括波特率、校验位、数据位、起始位、停止位等, 实现上位机与汽车 OBD 的通信, 实现信息交互。

(3) 数据解析可视化显示功能, 解析速度、转速、瞬时油耗, 计算加速度、计算驾驶行为量化因子并实时绘制动态曲线。另外, 同时解析出驾驶时间、里程等其他参数, 以便更多地了解车辆行驶状态。

(4) 历史数据复现功能, 将存储的历史数据复现, 用于离线分析研究。

(5) 存储功能, 将采集到的数据储存于上位机, 并对应其驾驶员信息, 可作为采样数据, 用于离线研究和分析数学模型。

## 2 数据采集

### 2.1 通信协议

串口数据采集模块采用事件委托的方式异步获取数据, 即当串口接收缓冲区有设置长度的数据量时触

发数据接收事件。系统工作时, 数据帧以 ASCII 码形式连续不断地传输到上位机。软件根据通信协议进行数据分割, 解析得到随时间变化的各行车参数。采集到的数据帧示例如下:

```
# 016aa28e8e5700732b27001404e40002004600240
054045d001257d3008b3b4e0006294d529fff000002e1002
f000000000000000dd907a97
```

通信协议约定, 第 0 位的“#”表示数据起始字符, 也是每帧数据的分界符。第 1、2 位分别表示目标地址和源地址, 第 3、4 位分别表示数据长度的高四位和低四位, 从第 5 位开始即是数据位, 最后两位分别表示和校验高四位和低四位。该系统软件中使用的主要行车参数及其在数据帧中的位置如表 1 所示。

表1 协议部分参数

参数名称	数据字节起止序号	备注
速度	37—40	速度=数值(km/h)
转速	25—28	转速=数值(r/min)
当前里程	49—56	里程=数值(m)
当前油耗	57—64	油耗=数值*0.000 02(L)

以速度参数为例, 如表 1 所示, 由于数据位是从第五位开始的, 则速度即为 37 位到 40 位, 即“0024”。将其从十六进制转换为十进制便可得到“36”, 单位是“km/h”。

### 2.2 实验数据描述

研究中使用的数据均来自 OBD-II, 通过 CAN 总线传输, 收集并存储后作为历史数据。论文中数据均采样于实际驾驶途中, 时间分辨率为 3 Hz。实验所用数据路线选自于一条室外道路, 单程长约 80 km, 涵盖城市道路, 高速公路和乡村道路。全程速度范围为 0 至 120 km/h, 包括加速、减速、匀速和怠速。论文选出发路路线数据用于标定, 记作 TRIP A, 返回路线数据用于验证, 记作 TRIP B。图 3 为 TRIP A 速度曲线。

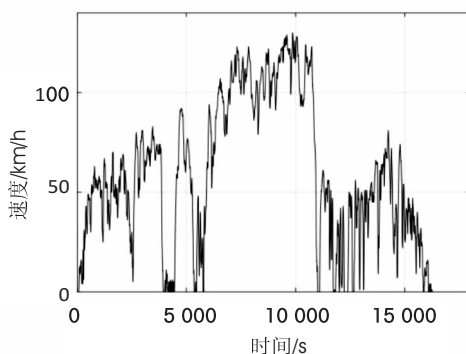


图3 TRIP A 速度曲线

### 2.3 数据预处理

数据预处理包括数据的平滑和加速度的计算两部分。平滑旨在滤波消除噪声和模拟多组不同波动的速

度信号。当前时刻的速度为  $v_i$ , 其计算方法如式(1)所示。

$$v_i = (v_{i-1} + v_{i-2} + \cdots + v_{i-n})/n \quad (1)$$

其中,  $n$  为平滑点数,  $v_{i-1}, v_{i-2}, \cdots, v_{i-n}$  分别表示当前时刻前  $n$  个点的速度。

速度的原始数据和经 5 点平滑滤波处理的数据对比如图 4 所示。

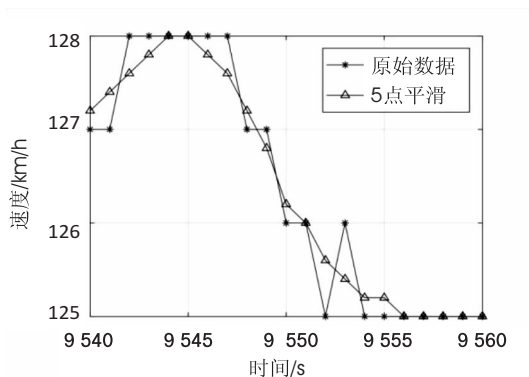


图 4 原始速度曲线及 5 点平滑速度曲线示例

从图 4 中可以看出,经过 5 点平滑处理的速度与原始速度不同,其波动程度发生变化。为模拟在同一段路况中不同驾驶行为下的多组速度数据,对原始速度进行多组平滑处理,从而获得若干组驾驶行为及速度信息。

另外,由于 OBD 数据帧没有包含车辆的加速度信息,且数据采样频率固定,系统利用速度差分来近似得到车辆加速度  $a_i$ , 其计算方法如式(2)所示。同样,对速度数据进行多组平滑处理的同时,各组数据差分所得加速度数据也随之变化。

$$a_i = v_i - v_{i-1} \quad (2)$$

其中,  $v_i$  表示当前时刻速度,  $v_{i-1}$  表示前一时刻速度。

### 3 数据可视化设计

为了更加直观地观察车辆在运行状态下各项参数的变化情况,对车辆瞬时速度、车辆瞬时加速度、车辆瞬时油耗等进行了可视化设计,以实时曲线的方式动态显示。为了提高软件复用性,设计开发了通用的绘图类,并封装成 Curve.dll。在绘制速度、加速度等信号时,只需定义绘图类的不同对象,设置相应的坐标最大值、最小值、曲线标题等基本参数,然后调用数据加载接口即可自动进行绘图。此模块在设计时,定义一个长度可配置的数据向量,串口触发事件处理函数中,按照先进先出(first in first out, FIFO)原则维护该数据向量,调用刷新函数触发重绘。为避免重绘数据时的界面闪烁问题,采用了双缓冲技术,即在刷新前,让当前所有图元逐步显示到背景画板上,然后一并拷贝到当前画板,以此缓解闪烁问题。图 5 为系统软件主

界面。

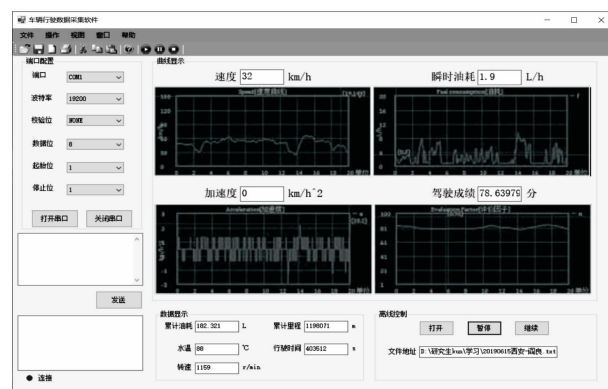


图 5 软件主界面

从图 5 可以清楚地看到,当前为离线状态,即调用某驾驶员历史数据并进行复现。点击暂停按键,可以看到当前汽车速度为 55 km/h,加速度为 0 km/h²,瞬时油耗为 2.5 L/h,驾驶成绩为 87.7 分。同时,还可以了解到水温、里程、转速以及行驶时间等信息。界面设计基于简洁直观的原则,便于车辆行驶参数的观察。

## 4 驾驶行为量化评价因子

### 4.1 因子分析原理

因子分析是指研究从变量群中提取共性因子的统计技术,最早由英国心理学家 C. E. 斯皮尔曼提出<sup>[15]</sup>。该方法把原来很多个影响因素归纳成几个影响因子,反映一种降维的思想。其数学模型如式(3)所示,通过该式将具有共性的影响因子拟合即可得到综合影响因子。

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \cdots + a_{im}F_m + \varepsilon_i \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \cdots, p$$

式中,  $F_1, F_2, \cdots, F_m$  称为公共因子,  $\varepsilon_i$  称为  $X_i$  的特殊因子。论文将该模型应用于驾驶行为量化,分析若干项影响因子与油耗之间的关系,并对多项影响因子进行拟合,得到综合评价因子,从而起到对驾驶行为量化评估的作用。

### 4.2 驾驶行为量化因子

论文通过研究速度和加速度与油耗的影响来确定用来评价驾驶行为的量化因子。针对一位驾驶员驱动车行驶一段路程,从该段行程 OBD 数据中可解析出该次驾驶的速度、油耗等数据。对速度信号进行若干次不同点数平滑处理,以此来仿真在相同路况下不同的驾驶行为。用公式(4) VSP 模型计算每次平滑后对应的油耗数据。

$$\text{VSP}_{\text{fuel}} = b_1 + b_2 \times va + b_3 \times v + b_4 \times v^3 \quad (4)$$

式中,  $\text{VSP}_{\text{fuel}}$  表示瞬时油耗,  $b_1, b_2, b_3, b_4$  表示模型系数,  $v$  表示车辆速度,  $a$  表示车辆加速度,  $b_2 \times va$  表示克服加速阻力所消耗燃油,  $b_3 \times v$  表示克服滚动阻力



所耗燃油(不考虑道路坡度),  $b_4 \times v^3$  表示克服空气阻力所消耗燃油。利用 TRIP A 数据标定得到 VSP 模型系数,代入式(4),得到式(5)。

$$\text{VSP}_{\text{fuel}} = 1.7650 \times 10^{-4} + 2.9998 \times 10^{-6} \times va + 1.5590 \times 10^{-6} \times v + 1.1855 \times 10^{-10} \times v^3 \quad (5)$$

通过式(5),可以计算出 VSP 模型预测油耗。为了验证 VSP 模型预测油耗的准确性,用标定后的 VSP 模型预测 TRIP B 行程的油耗与实际测量油耗比对。将 TRIP B 按照每 2 km 进行分段,分别计算每段的累计油耗预测值与测量值,结果如图 6 所示。

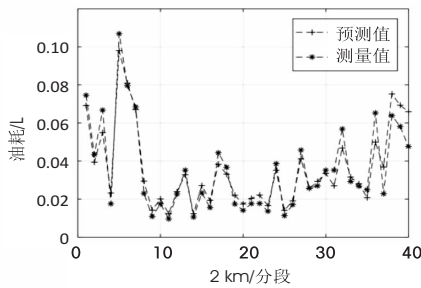


图 6 2 km 分段油耗预测值与实际值对比

从图 6 中可以看到,在该路程中,不同 2 km 路段油耗的预测值与实际测量值基本一致,这表明标定的 VSP 模型可用于后续仿真工况的油耗的估算。

为得到可用于评价驾驶行为的量化因子,首先通过驾驶行为工况模拟分析速度、加速度对油耗的影响,得到量化因子的成分。对数据 TRIP A 中的速度信息,经过不同平滑模拟多组数据,通过 VSP 模型计算每组数据的油耗值,并计算速度方差  $\delta_v$  以及加速度方差  $\delta_a$ ,如图 7 所示。

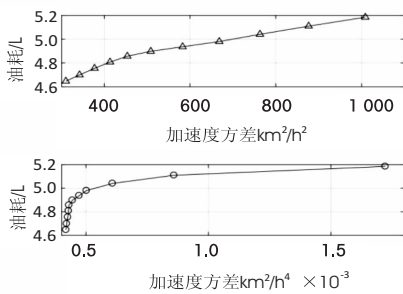


图 7 油耗与速度方差、加速度方差关系

从图 7 中可以看出,在相同路况下,速度的方差和加速度的方差均对油耗有影响,且速度方差与油耗近似于线性关系,加速度方差与油耗近似于对数关系。为验证速度方差、加速度方差与油耗之间的相关性,通过公式(6)分别计算速度方差  $\delta_v$ 、加速度方差  $\delta_a$  以  $e$  为底的对数与油耗  $f$  的 Pearson 相关系数。

$$\rho(a, b) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{a_i - \mu_a}{\sigma_a} \right) \left( \frac{b_i - \mu_b}{\sigma_b} \right) \quad (6)$$

式中,  $a, b$  为需要计算的两组数据,  $N$  表示数据量,  $\mu, \sigma$  分别表示数据的均值和标准差。Pearson 相关系数 0.8 ~ 1.0 表示极强相关。分别计算速度方差、加速度方差与油耗之间的 Pearson 相关系数,油耗  $f$  与速度方差  $\delta_v$  的相关系数为 0.979 8,与加速度方差  $\delta_a$  以  $e$  为底对数的相关系数为 0.824 5,均属于极强相关。

综上,速度方差和加速度方差对油耗是非常重要的影响因素。对这两项因子做降维处理,通过函数拟合,得到油耗与速度方差、加速度方差的关系为式(7)。

$$f = 3.5406 + 0.0009 \times \delta_v + 0.1115 \times \ln(\delta_a) \quad (7)$$

用数据 TRIP B 验证上式,进行多组平滑模拟,并将预测结果与 VSP 油耗进行比较。该预测结果与 VSP 油耗基本一致且趋势基本相同,如图 8 所示。

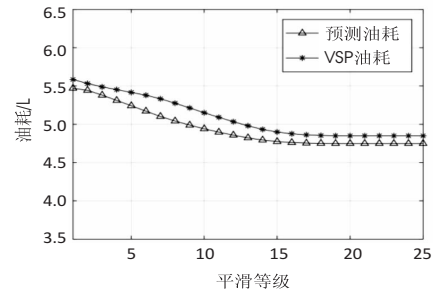


图 8 不同平滑下预测油耗与 VSP 油耗曲线

由于方差趋于 0 时,  $\ln(\delta_a)$  趋向于负无穷,这不符合实际。而从图 8 中可以看出,随着平滑等级的增加,预测结果趋于平稳。可见,当方差极小时,该公式可用常量代替。而在本研究中,只需考虑方差在正常范围即斜线范围内,并以此进行量化评估。由于上述油耗仅针对同一组数据平滑,而平滑并不会改变速度均值,因此在不同均值条件下,结果会有差异,因公式中需加入速度的均值项。实验表明,当公式(7)乘速度均值时,该公式呈现线性关系,可用于量化评估。则驾驶行为综合评价因子  $F$  为:

$$F = (3.5406 + 0.0009 \times \delta_v + 0.1115 \times \ln(\delta_a)) \times v_{\text{mean}} \quad (8)$$

用数据 TRIP B 验证公式(8),方式如下:一、对整段数据做多次平滑模拟并计算综合评价因子  $F$  及对应油耗;二、计算 TRIP B 中任意 2 km 分段的综合评价因子  $F$  及对应油耗。为使综合评价因子更符合人们认知,将其转换成驾驶行为量化评分,即将综合评价因子  $F$  通过公式(9)归一化为 1 到 100 分,归一区间阈值  $\delta_{\min}, \delta_{\max}$  采用理想状态。多组平滑数据分数与油耗关系如图 9 所示,TRIP B 的驾驶行为分数与油耗关系散点图如图 10 所示。

$$y = (100 - 1) \times \frac{F - \delta_{\max}}{\delta_{\min} - \delta_{\max}} + 1 \quad (9)$$

图 9 代表不同的驾驶行为比较,图 10 代表在一段路况中驾驶行为的变化情况。在两种不同计算情况下,分数与油耗均呈现负相关趋势,分数越高,油耗越低。因此,该分数可反映驾驶行为,并作为其量化评分。

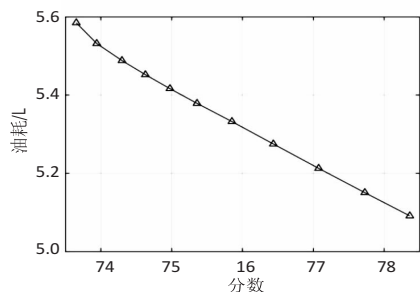


图 9 平滑数据分数与油耗关系

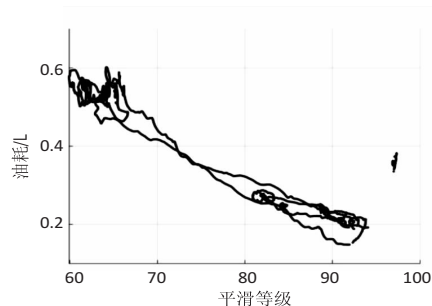


图 10 TRIP B 任意 2 km 分段分数与油耗散点图

## 5 结束语

(1) 基于 .Net 开发了乘用车行驶参数采集与分析软件,软件可进行 OBD 串口通信,可实时解析读取车辆速度、发动机转速、瞬时油耗、百公里油耗、里程等参数,并具有数据预处理、显示、可视化、存储等功能。软件可读取并复现历史数据,并完成上述功能。软件界面友好,使用方便且稳定可靠。

(2) 提出了结合速度方差和加速度方差的驾驶行为综合评价因子,实验表明,该因子与油耗正相关,可用于量化评估驾驶行为。软件将驾驶行为评价因子可视化显示,为驾驶员实时提供数字化的驾驶行为量化指标,便于其及时修正自己的驾驶行为。

### 参考文献:

[1] 庞胜彬. 运输结构对交通运输能源消费的影响分析[D]. 北京:北京交通大学,2017.

[2] ZHOU Min, JIN Hui. Development of a transient fuel consumption model[J]. Transportation Research Part D: Transport & Environment, 2017, 51: 82-93.

[3] 付锐, 张雅丽, 袁伟. 生态驾驶研究现状及展望[J]. 中国公路学报, 2019, 32(3): 1-12.

[4] DEVLIEGER I, DE KEUKELEERE D, KRETZSCHMAR J G. Environmental effects of driving behaviour and congestion related to passenger cars[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34(27): 4649-4655.

[5] XU Zhigang, WEI Tao, EASA S, et al. Modeling relationship between truck fuel consumption and driving behavior using data from internet of vehicles[J]. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2018, 33(3): 209-219.

[6] 杨柳. 基于脑电数据分析的驾驶行为研究[D]. 北京:北京交通大学, 2019.

[7] WANG Xin, KHATTAK A J, LIU Jun, et al. What is the level of volatility in instantaneous driving decisions? [J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2015, 58(Part B): 413-427.

[8] ALMANNAAM H, CHEN H, RAKHA H A, et al. Reducing vehicle fuel consumption and delay at signalized intersections[J]. Transportation Research Record, 2017(2621): 10-20.

[9] 张帆. 车辆运行实时数据采集系统设计[J]. 微型电脑应用, 2019, 35(7): 58-62.

[10] 冯丽沙. 基于 CAN 总线电动汽车数据采集系统研究[J]. 中国设备工程, 2019(24): 193-194.

[11] ISO 15031-7-2013 Road vehicles. Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics[S]. [s. l.]: International Organization for Standardization, 2013.

[12] DUARTE G O, GONÇALVES G A, BAPTISTA P C, et al. Establishing bonds between vehicle certification data and real-world vehicle fuel consumption—a vehicle specific power approach[J]. Energy Conversion and Management, 2015, 92: 251-265.

[13] 张庆磊. 基于 OBD-II 接口车载终端的设计与实现[D]. 西安:西安电子科技大学, 2015.

[14] 张蕾. 基于 Spring Boot 与 OBD 的车辆故障诊断网络系统的开发设计[D]. 广州:广东工业大学, 2018.

[15] 唐守正. 多元统计分析方法[M]. 北京:中国林业出版社, 1986: 99-101.