

文章编号:1671-6833(2015)04-0096-04

基于模糊聚类的西安市区轿车行驶工况构建

蔺宏良^{1,2}, 余 强²

(1. 陕西交通职业技术学院 汽车工程系, 陕西 西安 710018; 2. 长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064)

摘 要: 在行驶工况构建过程中, 实验数据的解析与处理方法直接影响构建的代表性行驶工况的精度. 由于城市道路交通结构复杂, 车辆运行方式特殊, 因此, 引入模糊聚类方法对西安市区道路车辆运动状态数据进行处理, 以建立能够反映交通流状况且与车辆行驶状态紧密相关的行驶工况. 通过对平均速度和行驶速度标准偏差模糊聚类, 将西安市区道路轿车行驶状态分为拥堵状态、稳定流动状态和畅通状态 3 类, 在此基础上采用分类法和短行程法相结合构建了西安市区轿车代表性行驶工况. 验证发现: 利用模糊聚类方法构建的西安工况与实验数据相对误差较小, 能够反映西安市区轿车真实的运行状态.

关键词: 城市交通; 汽车工程; 行驶工况; 模糊聚类; 交通流状况; 道路实验; 数据解析

中图分类号: U463.6 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2015.04.022

0 引言

行驶工况的构建一般通过某种车辆在特定交通环境中的行驶实验, 运用多元统计理论, 经过数据分析建立. 试验数据的解析与处理是行驶工况构建的关键环节, 直接影响构建的代表性工况的有效性和适用性. 目前, 国内关于行驶工况解析与构建方法的研究积累了一定经验. 文献[1-3]采用传统的短行程方法, 对城市典型道路的行驶工况进行了构建. 文献[4-5]引入主成分分析法, 从采集的原始数据中提取微行程并按加权比例进行工况构建. 文献[6-7]借助马尔可夫随机过程原理研究了加利福尼亚地区的行驶工况. 文献[8-10]等研究了主成分分析、动态聚类法与马尔科夫方法相结合用于行驶工况的构建研究. 上述方法在分析试验数据与构建代表性工况时, 大多以车辆的运行状态、发动机的功率需求为依据, 并没有考虑道路的交通流状态以及车辆运行状态对燃料消耗及污染物排放的影响. 笔者从降低城市交通能耗与污染物排放角度出发, 对能够描述车辆运行状态的特征参数进行模糊聚类, 试图建立能够反映交通流状态, 且与交通能耗与污染物排放相关性好的西安市区代表性行驶工况.

1 模糊聚类理论基础

1.1 模糊聚类算法

为了挖掘分析车辆运行的规律, 引入模糊聚类, 利用模糊聚类方法对车辆典型运动状态参数进行深入分析, 寻求能够反映交通流状况的潜在车辆行驶状态. 目标函数设定为

$$J(U, V) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m (d_{ik})^2. \quad (1)$$

式中: $U = [u_{ik}] (u_{ik} \in [0, 1])$ 为模糊聚类的隶属度矩阵; $m (1 \leq m \leq \infty)$ 是模糊加权指数. x_k 为第 k 个样本, v_i 为第 i 个聚类中心. 设 x_k 和 v_i 都是 p 维向量, v_i 表示第 $i (i = 1, 2, \dots, c)$ 类聚类中心, A 为 $P \times P$ 矩阵, 则 $(d_{ik})^2$ 可以通过下列公式求得:

$$(d_{ik})^2 = \|x_k - v_i\|^2 = (x_k - v_i)^T A (x_k - v_i) \quad (2)$$

式中: T 表示转置矩阵. 聚类准则就是求目标函数的极小值, 即 $\min \{J(U, V)\}$.

1.2 行驶片段的模糊聚类

模糊聚类可以根据行驶片段的典型特征参数将车辆行驶状态分成不同的类, 类与类之间的车辆运动状态差异明显. 模糊聚类对行驶片段特征参数的分析流程如图 1 所示.

收稿日期: 2015-01-27; 修订日期: 2015-04-16

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目资助 (CHD2011SY009); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目资助 (2011JM7012)

作者简介: 蔺宏良 (1978-), 男, 陕西渭南人, 陕西交通职业技术学院副教授, 博士, 主要从事汽车节能与交通环境治理等方面的研究. E-mail: linhongliang@sctt.cn.

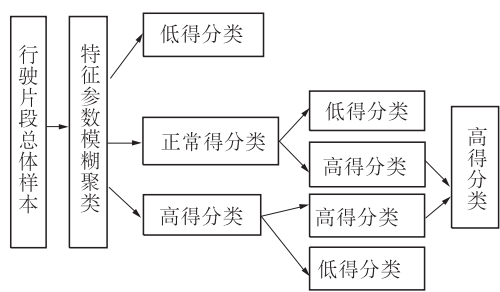


图 1 行驶特征参数的聚类流程

Fig.1 Cluster process of running parameters

2 西安市区代表性行驶工况构建

2.1 模糊聚类样本选择

为了使聚类结果能够反映道路交通流的变化和车辆的燃料消耗与污染物排放,模糊聚类样本的选择就显得尤为关键。

针对车辆的行驶片段,提出平均速度 v_m 和行驶速度标准偏差 σ_v 两个特征参数描述车辆的运行状态,其定义如下:

$$v_m = \frac{S}{T} \tag{3}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{mr} - v)^2}{n - 1}} \tag{4}$$

式中: v_m 为车辆的平均速度,km/h; v_{mr} 为除去怠速时间的平均行驶速度,km/h; v 为瞬时速度,km/h; S 为行驶片段的距离,m; T 为行驶片段的时间,s; σ_v 为行驶速度标准偏差; n 为样本容量。可见:平均速度能够反映车辆包括怠速、加速、减速及匀速工况内的行驶状况,因而能够间接反映道路的交通流信息,而行驶速度标准偏差能够反映车辆瞬时的速度变化,与车辆的燃料消耗与污染物排放相关性好。基于此,选取平均速度和行驶速度标准偏差这两个因子为样本进行模糊聚类。

2.2 模糊聚类结果分析

模糊聚类结果见表 1。

表 1 平均速度和行驶速度标准偏差聚类分析结果

Tab.1 Clustering result about average speed and speed standard deviation

类别	聚类分布		平均速度质心		速度标准偏差质心	
	N	组合/%	均值	标准差	均值	标准差
类 1	157	43.4	4.0216	1.755 51	3.956	1.283 49
类 2	109	30.1	11.158	3.432 74	9.055	2.060 51
类 3	96	26.5	22.424	6.416 27	14.46	2.009 45
组合	362	100.0	11.090	8.467 00	8.303	4.641 70

很明显:对速度和速度标准偏差的聚类结果明显分为 3 类,主要体现为行驶片段得分的大小,反映的是道路的交通能力与通畅程度。因此,根据聚类结果将所有行驶片段定义为以下 3 种不同的交通状况。

(1) 拥堵行驶状况:占到行驶片段总量的 43.1%。平均速度仅为 4.02 km/h。此时车流被交通流所限制,车辆时停时开,怠速停车时间比例较高,交通处于堵塞状态。

(2) 稳定流动行驶状况:包含了较多的行驶片段,占到总量的 30.3%。平均速度为 11.16 km/h。此时道路上车辆流动稳定,有一定延误,但怠速停车时间较短。

(3) 畅通行驶状况:包含了相对较少的行驶片段,占到总量的 26.7%。可以自由加速,必要时减速,加减速时间比例都较高,怠速时间比例低,平均速度为 22.42 km/h。

2.3 代表性行驶工况的构建

根据道路试验数据,结合拥堵交通、稳定流动交通、畅通交通 3 种交通状况所占的权重,按照分类法与短行程法相结合的方式对西安市区道路行驶工况进行构建,如图 2 所示。可见,西安市区行驶工况时间为 931 s,最大速度为 53.26 km/h,最小速度为 0 km/h,全部行程为 4.524 km。西安市区代表性行驶工况特征参数与试验数据的比较参见表 2。

表 2 代表性工况与试验数据特征值比较

Tab.2 Comparison of the feature values between representative driving cycle and test data

特征值	代表性工况	整体试验数据
$v_m/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	17.354 720	16.830 770
$v_{mr}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	22.534 500	22.882 830
$v_{sd}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	34.067 050	33.534 880
$a_{\max}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	5.508 333	5.825 000
$a_a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	0.725 194	0.576 763
$a_d/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	-0.609 460	-0.591 540
$a_{\min}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	-5.711 110	-5.738 890
$P_i/\%$	0.229 860	0.264 480
$P_a/\%$	0.230 934	0.262 206
$P_c/\%$	0.277 121	0.231 605
$P_d/\%$	0.262 084	0.241 709

注:表中: v_{sd} 速度标准偏差; a_{\max} 为最大加速度; a_a 为加速段平均加速度; a_d 为减速段平均减速度; a_{\min} 为最小减速度; P_i 为怠速时间比例; P_a 为加速时间比例; P_c 为匀速时间比例; P_d 为减速时间比例。

3 行驶工况分析评价

3.1 速度-加速度的联合分布对比

在行驶工况构建完成之后,可以通过计算比

较代表性工况与试验数据的速度-加速度的联合分布进行初步验证. 西安市区代表性瞬态行驶工况速度-加速度联合分布见表 3.

从表 3 可以看出:西安市区代表性行驶工况的速度在 $[0,10]$ km/h、加速度在 $(0,1]$ m/s² 的比例

最高,达到 29.97%,平均速度低,缓慢加速行驶. 其次是速度在 $(10,20]$ km/h、加速度在 $(-1,0]$ m/s² 的比例较高,达到 10.53%,平均速度略高,缓慢减速. 速度大于 70 km/h 的比例没有,速度分布小于 20 km/h 的比例占到了全部工况的 60.69%.

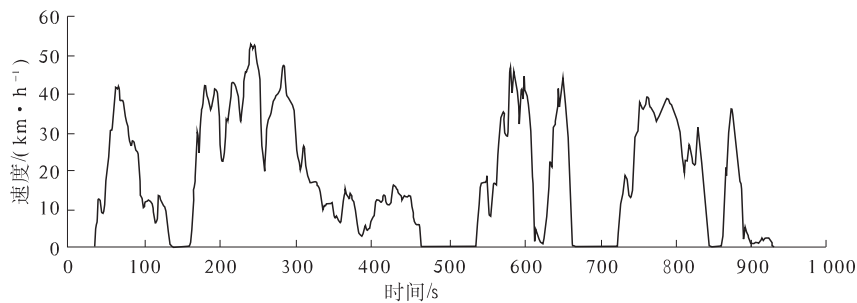


图 2 西安市区代表性行驶工况
Fig.2 Xi'an city representative driving cycle

表 3 西安市区行驶工况速度-加速度联合分布
Tab.3 Velocity & acceleration joint distribution of Xi'an city driving cycle

速度	≤ -3.0	$(-3,-2]$	$(-2,-1]$	$(-1,0]$	$(0,1]$	$(1,2]$	$(2,3]$	>3
$[0,10]$	0	0.004 3	0.006 4	0.074 1	0.299 7	0.003 2	0	0
$(10,20]$	0.001 1	0.001 1	0.004 3	0.105 3	0.098 8	0.007 5	0	0.001 1
$(20,30]$	0	0	0.010 7	0.060 2	0.034 4	0.012 9	0.002 1	0
$(30,40]$	0	0	0.007 5	0.090 2	0.077 3	0.008 6	0.001 1	0
$(40,50]$	0	0	0.004 3	0.031 1	0.036 5	0.005 4	0.001 1	0
$(50,60]$	0	0	0	0.004 3	0.005 4	0	0	0

3.2 相对误差评价

初步验证通过后还可以采用构建的行驶工况与实际道路试验数据的差异及特征参数的平均相对误差来评价构建的行驶工况的有效性,两者的差异越小,说明构建的行驶工况越有效. 西安市区行驶工况与试验数据特征参数的对比见表 4.

表 4 特征参数的验证对比
Tab.4 Comparison and verification of feature values

特征值	试验数据	瞬态工况	相对误差/%
$v_m/(km \cdot h^{-1})$	16.830 770	17.354 720	3.113
$v_{mf}/(km \cdot h^{-1})$	22.882 830	22.534 500	1.522
$v_{sd}/(km \cdot h^{-1})$	33.534 880	34.067 050	1.587
$a_{max}/(m \cdot s^{-2})$	5.825 000	5.508 333	5.436
$a_a/(m \cdot s^{-2})$	0.576 763	0.625 194	8.397
$a_d/(m \cdot s^{-2})$	-0.591 540	-0.609 460	3.029
$a_{min}/(m \cdot s^{-2})$	-5.738 890	-5.711 110	0.484
平均相对误差	—	—	3.367

从表 4 可以看出:西安市区瞬态行驶工况主要特征参数与试验数据相对误差均较小,最大仅为 8.397%,最小仅为 0.484%,有效性很高.

4 结论

车辆在道路上的行驶状态千差万别,导致燃料消耗与污染物排放差异明显. 因此,行驶工况构建时如何选取与车辆真实行驶状况最为接近的行驶片段就显得尤为重要. 笔者将模糊聚类用于车辆行驶片段的分析,通过对车辆行驶速度和平均速度标准偏差进行模糊聚类,找到能够代表总体样本绝大部分特征的代表行驶片段. 并按照分类法思路,把行驶片段分成畅通行驶状态、稳定流动行驶状态和拥堵行驶状态 3 类. 通过分析其特征参数,采用短行程方法构建了西安市区代表性瞬态行驶工况. 构建的西安市区行驶工况时间为 931 s,最大速度为 53.26 km/h,最小速度为 0 km/h,全部行程为 4 524.47 m. 验证发现:构建的西安市区代表性瞬态工况主要特征参数与试验数据的平均相对误差为 3.367%,能够准确描述车辆在西安市区道路行驶的真实状况,说明利用模糊聚类方法行驶片段与特征参数进行分析以建立行驶工况的方法是有效且可行的.

参考文献:

- [1] 蔺宏良. 西安市交通环境车辆行驶工况与燃料消耗研究[D]. 西安:长安大学汽车学院,2013.
- [2] 王岐东,贺克斌,姚志良,等. 中国城市机动车行驶工况研究[J]. 环境污染与防治, 2007,29(10):745-748.
- [3] 杜爱民,步曦,陈礼璠. 上海市车辆实际运行工况的调查与分析[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2005,33(1):55-58.
- [4] 訾琨,黄永青,涂先库,等. 宁波市汽车行驶工况和污染物排放调查研究[J]. 内燃机工程,2006,27(1):81-84.
- [5] PELKMANS L, DE KEUKELEERE D, BRUNEEL H, et al. Influence of vehicle test cycle characteristics on fuel consumption and emission of city buses [C]//International Spring Fuels and Lubricants Meeting and Exhibition. [s. l.]; SAE Technical Papers, 2001.
- [6] BRUNEEL H. Heavy duty testing cycles development: a new methodology [C]//International Spring Fuels and Lubricants Meeting and Exhibition. [s. l.]; SAE Technical Papers, 2001.
- [7] DEMBSKI N, GUEZENNEC Y, SOLIMAN A. Analysis and experimental refinement of real-world driving cycles [C]//International Spring Fuels and Lubricants Meeting and Exhibition. [s. l.]; SAE Technical Papers, 2001.
- [8] 姜平,石琴,陈无畏. 基于马尔科夫的城市道路行驶工况构建方法[J]. 农业机械学报,2009,40(11):26-30.
- [9] 赵慧,张镇顺,熊永达. 香港城区汽车行驶工况的研究[J]. 环境科学学报,2000,20(3):313-315.
- [10] JIE Lin. A Markov process approach to driving cycle development[D]. University of California, 2002.

Construction of Sedan's Driving Cycle in Xi'an City Based on Fuzzy Clustering

LIN Hong-liang^{1,2}, YU Qiang²

(1. Department of Automotive Engineering, Shaanxi College of Communication Technology, Xi'an 710018, China; 2. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: In the process of driving cycle construction, experimental data's analysis and processing will directly affect the accuracy of driving cycle. Due to the complexity of urban road traffic structure and vehicle's special operating mode, fuzzy clustering method is introduced to analyze vehicle's typical motion data of Xi'an urban road traffic in order to establish driving cycle which is closely related to vehicle's running state and road traffic flow. After average speed and speed standard deviation fuzzy clustering, following results are found: sedan's driving states on Xi'an urban road are divided into congestion running state, steady flow running state and free flow running state three categories. Furthermore, combining classification method with short-stroke method, sedan's representative driving cycle in Xi'an city is built and verified. The result showed: the relative error between Xi'an representative driving cycle constructed by fuzzy clustering method and experimental data is small, which would reflect the vehicle's actual running state.

Key words: urban transport; automotive engineering; driving cycle; fuzzy clustering; traffic flow; road experiment; data analysis