

车辆行驶工况运动学水平的研究*

张富兴¹⁾ 李孟良²⁾ 乔维高¹⁾ 艾国和¹⁾ 朱西产²⁾

(武汉理工大学汽车工程学院¹⁾ 武汉 430070) (中国汽车技术研究中心²⁾ 天津 300162)

摘要: 为提炼车辆行驶的数字特征,把速度时间记录看作运动学片段的集合.从运动学片段入手,运用主成分分析提取关键特征用于聚类分析,重点论述聚类分析技术对车辆行驶数字特征进行分类,研究了车辆运动的各个不同层次的水平,探讨能够体现交通特征的分类方法.聚类结果符合客观事实,是行之有效的分类方法,研究有利于合成反映实际交通状况的行驶工况.

关键词: 行驶工况;运动学片断;聚类分析;水平

中图法分类号: U 469

车辆行驶工况是一个运动学过程的记录,可由一个接一个的“停车-运行-停车”的运动学片段(以下简称片段)组成,如图 1.那些片段由于受到交通流的影响,相互之间差异较大,既有长度短小、速度低的,又有长度较大、速度较高的,还有长度和速度相当而怠速时间不同的.总之,从道路实际采集的行驶工况是一个水平等级和类别均十分复杂的片段集合.从形态上看,持续时间的长短、速度的大小、加减速次数和怠速时间能够反映行驶工况的特征.

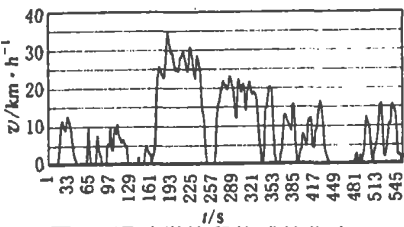


图 1 运动学片段构成的集合

车辆的设计和开发不能简单地满足一种平均水平的工况.在多层次水平工况的处理上,主要存在两种方法^[1~3].一种是把全行驶状态作为连续事实和现象来统计解析,在构建行驶工况之前根据试验区域人为地划分工况等级(市内、市郊和快速路),并人为地合成.另外一种则是从道路交通状况入手,通过对构成全行驶的各个运动学片段的研究、归类,构建工况.

文中在运动学片段主成分分析基础上,通过运用一种动态聚类分析的数据处理方法,对车辆行驶工况的运动学进行多层次水平分析,自动形成比如堵塞流、拥挤流、畅通流以及高速流等不同运动水平的片段集合,为最后解析合成符合道路交通特征的各种典型的车辆行驶工况提供基础.

1 运动学水平研究的数学原理

聚类分析^[4]是将研究对象进行分类的统计方法.其基本思想是在样品之间定义距离,在变量之间定义相似系数,距离或相似系数代表样品或变量之间的相似程度.按相似程度的大小,将样品(或变量)逐一归类,关系密切的类聚集到一个小的分类单位,然后逐步扩大,使得关系疏远的聚合到一个大的分类单位,直到所有的样品(或变量)都聚集完毕.

聚类分析有系统聚类法、快速聚类法、分裂法、最优分割法、模糊聚类法、图论聚类法等多种方法.文中用的是快速聚类法.理论研究及计算实践表明,快速聚类法是快速有效的聚类方法.

快速聚类法,又称动态聚类法,是先将样品粗略地分类,然后按某种原则进行修正,直至分类比较合理为止.快速聚类的过程如图 2 所示.

收稿日期: 2005-07-23

张富兴:男,27岁,硕士,主要研究领域为车辆排放、污染控制

* 国家科技部“863”项目资助(编号:2003AA501993)

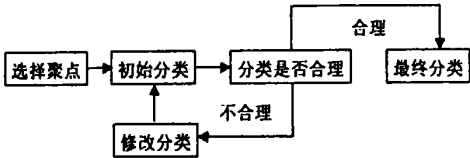


图 2 快速聚类过程

在进行快速聚类前,根据问题的要求及了解程度先定下分类数 k ,就可以在每一类中选择一个有代表性的样品作为聚点(初始聚点).聚点(种子)是一批有代表性的样品,它的选择决定了初始分类,对最终分类有较大影响.

选择聚点时遵循最小最大原则,设将 n 个样品分成 k 类,先选择所有样品中相距最远的两个样品 x_{i_1}, x_{i_2} 为前两个聚点,即选择 x_{i_1} 和 x_{i_2} ,使

$$d(x_{i_1}, x_{i_2}) = d_{i_1, i_2} = \max \{d_{ij}\} \quad (1)$$

然后,选择第 3 个聚点 x_{i_3} ,使得 x_{i_3} 与前两个聚点的距离最小者等于所有其余的与 x_{i_1}, x_{i_2} 的较小距离中最大的,用公式表示为

$$\begin{aligned} \min \{d(x_{i_3}, x_{i_r}), r = 1, 2\} = \\ \max \{ \min [d(x_j, x_{i_r}), r = 1, 2], j \neq i_1, i_2 \} \end{aligned} \quad (2)$$

然后按相同的原则选取 x_{i_4} ,依次下去,直至选定 k 个聚点 $x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_k}$.

选取过程可以用递推公式表达.若已选定了 l 个聚点 ($l < k$),则第 $l+1$ 个聚点选取原则为

$$\begin{aligned} \min \{d(x_{i_{l+1}}, x_{i_r}), r = 1, 2, \dots, l\} = \\ \max \{ \min [d(x_j, x_{i_r}), r = 1, 2, \dots, l], j \neq i_1, \dots, i_l \} \end{aligned} \quad (3)$$

聚类分析方法用于车辆运行工况水平分析,只需设 X 为运动学片段组的主成分数据集合, X_i 为各主成分的值.当设定的聚类数 K 后,聚类结果可以得到几个重要的定量分析结果:分类成员表,距离矩阵.通过分类成员表,可以知道各运动学片段的类别归属;通过距离矩阵,可以对各片段的水平进行定量的排序.

2 聚类结果分析及比较

2.1 样本形成及初步分析

首先对被测城市进行道路网结构分析,交通流调查,收集相关部门技术资料,以此确定试验路段.然后分早高峰、午平峰、晚高峰 3 次进行正交试验,使用装备记录仪器的车辆随正常车流以 2 H 的频率进行数据采集,记录发动机转速、车辆速度和油耗等参数.此试验中使用一部上海大众

1.4 L 的 POLO 轿车.

聚类对象采用了北京市某个星期一周期内采集的车辆运行数据,共获得了 2 284 个运动学片段.主成分分析得到 3 个主成分,各主成分包含的主要原始信息见表 1.分析车辆在不同的交通状态下的运行特征,对车辆设计和试验具有实际意义.本研究首先选择分类数 k 为 3,进一步选择 4.利用 Matlab 的强大计算功能,编制了专门的用于聚类计算的程序.

根据统计学^[4],文中用前 3 个主成分,其累计贡献率已达到 83%,达到了使变量维数降低,又不致于损失原始变量中太多信息的目的.车辆行驶数据的特征参数很多,有文献列出了 26 个^[5],不使用主成分分析,将使问题相当复杂而难以解决.

表 1 前 3 个主成分所代表的主要特征值

主成分	原始特征值
第 1 主成分	持续时间、加速时间、减速时间、匀速时间、行驶距离、最大速度、平均速度、运行速度、速度标准偏差
第 2 主成分	最大加速度、平均加速度、最大减速度、平均减速度、加速度标准偏差
第 3 主成分	怠速时间

2.2 聚类结果

经主成分分析,再由聚类分析将样本聚类.聚成 4 类的情况见表 2 其中数目指相应类拥有的运动学片段数量,片段比指片段量占总片段量的比例.

分析 4 类的聚类结果(见表 2)可以发现:类 1 包含了相对较短的片段(平均为 168.2 m),速度较低(12.44 km/h).此时车流被交通流所限制,怠速比例很高,代表了拥挤状态的市内交通状况;第 3 类代表的更象自由交通流,可以自由地加速,必要时减速,加减速比例较高,而怠速比例较低,在较少的平均时间(2.97 min)内行驶了较长的平均长度(1 123.2 m);第 2 类中平均用时 11 min,平均速度 39.15 km/h.然而,这类中包含的片段的长度和时间变化相当大(长度从 3 km~62 km 之间),最大速度也最高.对应于市郊或市外交通.第 4 类怠速比例 55.85%,平均速度 2.68 km/h.反映的完全是堵塞交通状态的行车状况.

对试验数据的分析表明,城市中繁忙的快速路以及高架路上与拥挤的城市交通状况得到一致的记录,都将包含在第 1 类(拥挤的城市)中,而不是包含在第 3 类里.作为课题研究对象的上海、广州也得出了类似结果.这种分类的特征并不完全依赖片段发生处的地理位置和公路类型,反映的

表 2 聚成 4 类时各类片段平均特征值

	数目 个	片段比 f%	ST/h	SS/km	Pa F%	Pd F%	Pc F%	Pi F%	$v_{\max} /$ $\text{km}^{\circ} \cdot \text{h}^{-1}$	$v_{av} /$ $\text{km}^{\circ} \cdot \text{h}^{-1}$	$v_{mr} /$ $\text{km}^{\circ} \cdot \text{h}^{-1}$	S/m	t/min
第 1 类	719	31.5	13.52	120.93	24.26	26.58	16.70	32.46	48.00	12.44	16.85	168.2	1.13
第 2 类	84	3.7	15.40	525.81	33.43	34.18	28.32	4.07	94.00	39.15	43.65	6 259.6	11.00
第 3 类	616	27.0	30.52	691.89	31.33	33.09	20.39	15.18	84.00	23.67	26.92	1 123.2	2.97
第 4 类	865	37.9	6.39	10.77	14.76	14.74	14.66	55.85	21.90	2.68	3.35	12.5	0.44

注: ST 样本总时间; SS 样本总行程; Pa, Pd, Pc, Pi 加、减、匀、怠速在相应类中所占时间百分比; v_{\max} , v_{av} , v_{mr} 最大、平均、运送速度; S 该类片段的平均行程; t 该类片段的平均用时。

是真实的交通流中车辆的运行。

因为类别的不同属性,不同类别之间的片段对整个行程的总贡献有相当大的差异.市内的片段(属第 1 类或第 4 类)包含着总片段数量的 69.4%,但其片段行程长度只占总行驶长度的 9.76%,其行驶时间占总的 32.5%.同样比较,只有 3.7% 的片段归类到高速公路(第 2 类),但是它们的行驶长度则占总行驶里程的 38.97%.通过这个构成分析,自动地产生了各类在整个工况中的权重,可用于最终工况的构造。

2.3 主要原始特征参数分布分析

进一步分析聚类后各类内所有片段几个主要的原始构成参数,如行驶时间、行驶距离等的等级堆积分布,以及速度和加速度等的平均值等级堆积分布,图 3~ 5 是各自分布图.观察发现:在图 3 以及表 2 中,分类界限清晰;而从图 3~ 5 中,却看到各类之间所有片段的各参数等级分布的界限并不明显,相互之间有重叠.比如图 3 中,各类运动学片段行驶时间在 60~ 120s 的占 20.5%,其中第 1 类占 11.5%,第 3 类占 7%,第 4

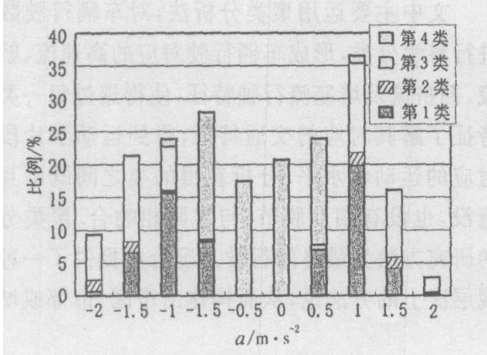


图 5 加速度均值堆积分布

类占 2%,仅凭行驶时间是无法完成分类的.这说明了单个的运动参数如速度、加速度等,对车辆运动水平影响确实不如主成分(综合了一些相关参数)的影响大,表明了车辆运行水平的分析确实需要综合考虑多个参数的共同影响。

还发现,第 1 类和第 3 类内片段参数特性覆盖范围广,而第 2 类和第 4 类覆盖范围窄;符合“独特的事物有其共同性,而普遍的事情总是各有不同的”规律.在设计车辆时,可以将第 1 类和第 3 类作为常规的工况;第 2 类和第 4 类则可用作特征工况。

2.3.1 行驶时间和距离 图 3 是聚成 4 类时片段的行驶时间堆积图.第 1 类和第 3 类覆盖了整个跨度;第 2 类在 300 s 及其之上;第 4 类行程很短.事实上,距离频度分布和行驶时间的分布特征相似.结合表 2 的信息,第 1 类片段虽然数目多,但由于其所占行程的里程比例小,故其在研究应用时,此类工况的权重也较小;第 3 类范围较广,该类具有综合平均的特征,可用作常规工况考虑.第 2 类虽然数目较小,但行程比例却较大.第 4 类可作为能源极限设计,从时间上考虑权重。

2.3.2 平均速度分布 图 4 所示,平均速度分布的跨度不是太大.正常的交通流平均速度值主要分布在 20 km/h~ 40 km/h 之间,拥堵状态的速度值分布于 10 km/h~ 20 km/h。

2.3.3 加速度分布 图 5 显示了各类片段的加速分布状况,可以看出与其他分布图有明显的区别.对各类片段加速度来说几乎成对称分布.第 1 类和第 3 类的较大加速度值的比例均较高,一般

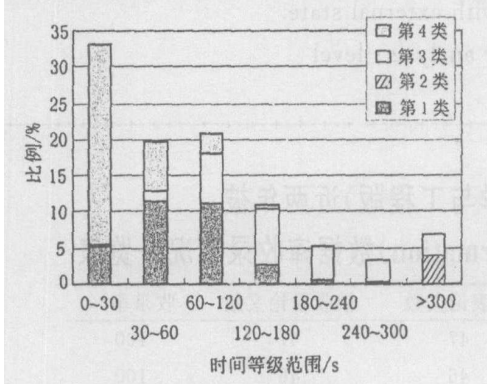


图 3 行驶时间均值堆积分布

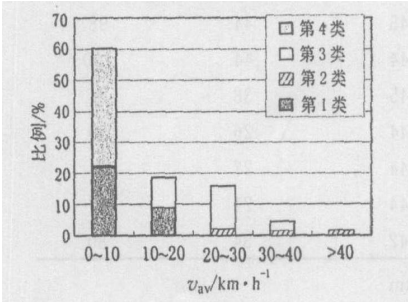


图 4 平均速度分布

拥堵和正常行驶时加减速度占相当大的比例.虽然速度于加速度成反比关系,但当车辆处于堵塞交通时,虽然速度值小,其加速度值仍很小.

3 结 束 语

文中主要运用聚类分析法,对车辆行驶数据进行科学分类,形成车辆行驶对应的高速流、畅通流、拥挤流及堵塞流行驶特征,使得透过每一类的特征了解其对应的交通特征,得到运动学片段所对应的运动学水平.分析获得的类之间既不互相淹没,也没有相互脱节,与实际相吻合.聚类分析的研究方法为最终的行驶工况合成提供了一种微观层次上的方法论,从而构建出市区、市郊或城市

综合工况,对车辆的研发、认证提供科学依据.

参 考 文 献

1 刘希玲,丁 焰. 我国城市汽车行驶工况调查研究. 环境科学研究, 2000, 13(1): 23~ 27

2 杨延相,蔡晓林,杜 青等. 天津市道路汽车行驶工况的研究. 汽车工程, 2002, 24(3): 200~ 204

3 赵 慧,张镇顺,熊永达. 香港城区汽车行驶工况的研究. 环境科学学报, 2000, 20(3): 312~ 315

4 范金成,梅长林. 数据分析. 北京: 科学出版社, 2002. 141~ 153; 205~ 241

5 李孟良,李 洵,方茂东等. 道路车辆实际行驶工况解析方法研究. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2003, 27(1): 69~ 72

Research on Kinematics Level of Driving Cycle

Zhang Fuxing¹⁾ Li Mengliang²⁾ Qiao Weigao¹⁾ Ai Guohe¹⁾ Zhu Xichan²⁾

(School of Automotive Engineering, WUT, Wuhan 430070)¹⁾

(China Automotive Technology & Research Center, Tianjin 300162)²⁾

Abstract

To abstract vehicle driving characters, velocity time record is regarded as muster of kinematics sequences. Based on the kinematics sequences of vehicle driving, this article catches main characters by principal components analysis. The main characters are applied to cluster analysis. The article mainly discusses cluster analysis, and researches attentively all kinds of level of these kinematics sequences by using cluster analysis. The result accords with external state.

Key words driving cycle; kinematics sequences; cluster analysis; level

武汉理工大学学报 (交通科学与工程版)近两年被
美国工程信息公司 Ei(Engineering information)数据库收录情况一览表

ISSN 号	年份	卷	期	发表论文数	被收录论文数	收录率%
1006- 2823	2005	29	4	47	47	100
1006- 2823	2005	29	3	46	46	100
1006- 2823	2005	29	2	45	45	100
1006- 2823	2005	29	1	45	44	98
1006- 2823	2004	28	6	44	44	100
1006- 2823	2004	28	5	45	38	84
1006- 2823	2004	28	4	44	26	59
1006- 2823	2004	28	3	44	27	61
1006- 2823	2004	28	2	44	21	47
1006- 2823	2004	28	1	42	34	80

信息来源: <http://www.ei.org.cn/twice/coveraga.htm>

(本刊通讯员)