

基于AGNES聚类算法的城市交通运行状态分析研究

崔世斌, 牛智勇*, 李若楠, 潘红梅, 任志城

(宿州学院资源与土木工程学院, 安徽 宿州 234000)

摘要:为提高道路运行效率、缓解城市交通拥堵,以宿州市城区为研究对象开展了交通运行状态的分析研究。通过GPS系统获得浮动车数据,运用数理统计方法对数据进行修复和预处理;选用路段行程速度和交通流量作为评价参数,构建了路段行程速度计算模型。利用AGNES聚类算法对道路流量和平均车速进行聚类分析,以此对道路交通状态进行等级划分并确定不同等级的区间值。结果表明:宿州市主干路严重拥堵临界值为20 km/h,低于标准值(21 km/h);同时次干路的中度和重度拥堵阈值也明显低于规范值,原因可能是车道较窄、机非混行。该研究可以为利用交通数据评估城市交通状况提供新方法,可以提高交通管理者对道路结构的认识,对城市道路的规划和设计有一定的参考价值。

关键词:城市道路;交通状态;浮动车数据;AGNES聚类算法

中图分类号:TU984.191 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2020)04-0062-06

Research on the Analysis of Urban Traffic Operation State Based on Agnes Clustering Algorithm

CUI Shibin, NIU Zhiyong, LI Ruonan, PAN Hongmei, REN Zhicheng

(School of resources and civil engineering, Suzhou University, Anhui 234000)

Abstract: In order to improve the efficiency of road operation and alleviate urban traffic congestion, the urban area of Suzhou city is taken as the research object to carry out the analysis and research of traffic operation state. The data of floating cars are obtained by GPS system, and the data are repaired and preprocessed by using mathematical statistics method. The travel speed and traffic flow are selected as evaluation parameters to construct the calculation model of road travel speed. Agnes clustering algorithm is used to cluster the road flow and average speed, so as to classify the road traffic status and determine the interval value of different grades. The results show that the critical value of serious congestion on main roads in Suzhou is 20km / h, which is lower than the standard value (21km / h); meanwhile, the threshold of moderate and severe congestion of secondary trunk roads is significantly lower than the standard value, which may be due to narrow lanes and mixed traffic of motor vehicles and non motorized vehicles. This study can provide a new method for evaluating urban traffic conditions by using traffic data, improve the understanding of road structure for traffic managers, and have certain reference value for urban road planning and design.

Keywords: urban road; traffic status; floating car data; ages clustering algorithm

0 引言

近年来由于城市中机动车和居民出行需求的增长速度过快,加之我国城市交通设施不完备,路网规划密集,所造成的城市拥堵日益严重,给社会造成了极大的负面影响,制约了城市经济的快速发展。当某一路段上车辆数达到设计通行能力的饱

和值时,就会发生交通拥堵,但实际上道路通行能力不是任何时间都会达到饱和。即道路网络并没有在任何时候、任何地点超载。如果能实时获取出行道路的交通信息,精确掌握道路的交通状况,制定有效的日常交通管理措施和交通拥挤解决办法,对提高路网的整体运行效率具有重要意义^[1]。

通过对交通运行状态不同层次的评价分析和

收稿日期:2020-06-29

基金项目:宿州学院大学生科研立项项目(KYLXYBXM19-009);安徽省大学生创新创业训练项目(201910379166);宿州学院博士科研启动基金项目(2019jb09)。

作者简介:崔世斌(1997—),男,安徽安庆人,本科,研究方向:交通运输与规划设计; *为通信作者:牛智勇(1988—),男,山东沂水人,讲师,博士,研究方向:岩土工程地下空间利用。

预测、提高道路运行效率逐渐成为交通研究领域的热点。林明文^[2]在分析现有交通流参数采集技术及其特点的基础上,提出了一种通过无线传感器网络获取道路交通流参数信息并及时判断道路交通状况的模型。Mehdi Azimi等应用三种模式识别方法(K-means、模糊C均值、CLARA聚类),根据交通流特性对高速公路的交通流状况进行分类,将结果与美国道路通行能力手册(HCM)进行比较,并进行了补充^[3]。此外,众多国外学者在上世纪60年代便开始了道路交通运行状态评价和城市路网时空特性等方面的研究,而随着智能算法的发展,很多国外的学者将神经网络、模糊理论、SVM、APID模型等方法应用于交通状态评价与分析,并取得了一定的效果^[4-5]。我国交通运输领域的研究始于20世纪80年代,相比较于国外起步较晚,在研究广度以及深度上有所不足。国内众多学者利用采集到的交通流数据来研究区域内交通状态,而且所用方法大多与国外类似。郭恒明等基于城市道路交通流不连续的事实,结合交通异常积聚占据率的检测算法,与历史数据进行对比,总结出了一种城市路段交通异常检测算法^[6]。王伟等基于出行时间和道路长度信息,提出了道路拥挤系数的概念,建立子区域的交通状态矩阵,利用加权法计算出整个协同子区域的拥塞系数,进而判断子区域的交通状况^[7],黄艳国等利用VISSIM仿真软件对上述方法进行了仿真验证^[8]。

在交通运行状态评价方面,我国学者郝媛等引入基于知识的模糊系统来识别高速公路的交通状态,在综合分析上海市部分路段8种交通现象的基础上,提出了判别交通状态的模糊集和模糊规则,并将交通流划分为5种交通状态^[9-10]。该方法能够实时检测道路的交通拥挤范围,为今后的交通模式识别和改进提供依据。郭敬依据采集的北京市浮动车数据,根据模糊理论的隶属度原则,提出了对于北京市道路运营的指标体系和评价方法^[11]。

通过上述分析可知,众多国内外相关学者在道路交通状态与评价领域都开展了深入的研究。但我国目前的交通状态分析与评价从中观和微观层面研究较多,缺乏统一性。此外,我国现有交通状态研究中多通过建立评价指标或判别方法对路段的交通状态进行判别与检测,对城市道路路网的交通状态评价与时空特性的研究尚有不足。城市交通运行状态评价具有需求量大、时空交叉、多点分段等特点,大数据技术手段能够很好地解决这些问题。其中:(1)车载GPS浮动车数据可以与道路GIS

数据相匹配,可为道路拥堵监测提供较好的数据基础。(2)连续行驶轨迹也能反映行驶路径和行驶速度,对交通运行评价具有重要价值。本文选取路段平均行程速度和道路流量两个参数进行交通状态的综合划分,将宏观参量用于交通状态的表征和描述,利用层次聚类的方法分析道路交通状态,并进行了实例分析和评价。

1 城市道路交通流数据采集与预处理

1.1 GPS浮动车数据采集技术

浮动车数据(Floating Car Data, FCD)采集技术也称探测车数据采集技术,近年来逐渐成为国内外获取城市道路交通信息的重要数据采集方法之一。其原理一般是通过GPS定位车辆系统获取车辆行驶的轨迹数据,通过车辆行驶轨迹和采集时间点获取道路行驶速度数据,为交通状况分析提供数据支持^[12]。

本文以宿州市部分浮动车数据作为数据基础,在选取的150辆普通型出租车上安装GPS定位装置,出租车在城市道路上运行时实时向终端传输GPS数据。获取的浮动车数据包含GPS装置编号、车辆经度、车辆纬度、瞬时行驶速度、接收时间、车辆方向等6个有效字段,其中将GPS装置的编号用宿州市埇桥区行政号和数列号表示。随机选取其中六辆车的GPS数据示例(表1)。

表1 车载GPS数据示例

Car-ID	Time	Longitude/(°)	Latitude/(°)	Speed/(km·h ⁻¹)	Direction
34130211	6:30:18	116.998 45	33.637 73	40	10
34130232	6:30:20	116.997 18	33.637 76	40	8
34130253	6:30:24	116.997 74	33.637 14	45	268
34130224	6:30:26	116.997 86	33.636 48	40	178
34130205	6:30:30	116.947 29	33.637 81	34	196

1.2 GPS浮动车数据预处理

在车辆行驶过程中,GPS数据传输的影响因素有很多,比如容易被高大的构筑物阻挡,受到极端天气的影响,受到周围电磁信号(移动电话等)的干扰,同时还受到设备系统精度的影响,会导致出现一些错误的、无效的和异常数据^[13]。为了更准确、有效地获取浮动车数据,需要对采集到的错误冗余的GPS浮动车数据进行判别,并对错误数据进行修复处理,从而快速准确识别出交通状态^[14]。具体处理步骤如下:

1)剔除研究区域以外的数据。判断上传的GPS数据中车辆的经纬度坐标是否在研究区域范围内,如果车辆的数据坐标超出研究区域的范围,

则将其删除。

2)剔除接收前后间隔太长的数据。在车辆行驶过程中,由于信号干扰、建筑物遮挡等原因的影响,容易导致终端接收同一辆车前后两个数据之间的时间间隔过长。

利用 SPSS22.0 统计软件对所有 GPS 浮动车数据的收集时间进行间隔差值频数分析,确定间隔频数最大值,以此时间间隔作为剔除间隔过长数据的阈值。分析结果显示平均时间间隔为 60 s,即同一辆车采集的相邻数据之间的时间间隔超过 60 s 的数据全部剔除。按照式(1)~(2)算法,剔除第*i*条数据。

$$T_i - T_{i-1} > 60 \tag{1}$$

$$T_{i+1} - T_i > 60 \tag{2}$$

式中: T_{i-1}, T_i, T_{i+1} 分别为同一车辆的第*i*-1,*i*,*i*+1条数据接受时的记录时刻。

3)剔除无效数据。定义同一车辆的数据上传时间不同但经纬度相同的多条数据为无效数据。主要原因是:车辆在交叉口等红绿灯、礼让行人、停车上下客处于停车状态等,由于这种无效数据会影响对道路真实交通状况的判断,需通过判别来消除,提高数据的准确性。规定当GPS浮动车的上传第一次数据与最后一次数据的时差大于240 s时,判断车辆处于停止状态,并去除该数据。

4)剔除异常数据。若某出租车的地点速度超过该路段所能容许的最大值,则将该条数据剔除。设定车辆地点速度的合理范围式(3)。

$$0 \leq V \leq fV_0 \tag{3}$$

式中: V_0 —道路设计速度; f —速度修正系数, f 的值一般取1.3-1.5。

5)剔除错误数据。重复记录的数据。

2 城市交通状态的度量参数与计算模型构建

2.1 交通状态概述

目前,国际上对于交通运行状态划分认可度最高的是美国《道路通行能力手册》(HCM)提出的服务水平,其将服务水平定义为:服务水平是描述交通流运行状况的质量指标,它通常由行车速度、行驶自由度、行驶时间、交通拥挤度、便利性和舒适性来描述^[15-16]。HCM中基于服务水平划分为六个级别,等级越高,延误越大,交通越拥堵。但交通运行状态它是一种伴随着交通系统而产生的变量集成,首先是一种系统状态变量,而交通系统又需要人参与,所以它又是交通参与者的主观感受。

因此,本文根据道路交通系统的特征,认为道路交通运行状态是交通流整体运行的客观反映,它能够利用一组反映交通流行为的指标参数表示。

2.2 交通状态分类

交通状态的类别是评价交通流行为或状态的主观描述性集合,其可以将道路拥挤状态反映出来,所以交通状态的划分也是基于交通管理者或参与者的主观判断。在不同类型城市的不同等级道路,交通参与者对于道路交通状态的判断也不尽相同。我国在2012年颁布的《城市交通管理评价指标体系》中依据主干道高峰时段的车辆行程速度将不同类型城市的道路交通状态划分为五个不同等级,其中等级越高,车速越低,表示越拥堵,如表2所示,与服务水平中类似。

表2 高峰时段建成区主干道平均车速分级表 km/h

标准等级	一	二	三	四	五
A类城市	≥25	[22,25)	[19,22)	[16,19)	[0,16)
B类城市	≥28	[25,28)	[22,25)	[19,22)	[0,19)
C、D类城市	≥30	[27,30)	[24,27)	[21,24)	[0,21)

一般来说,交通状态是正常和非正常的,即畅通和拥堵。从宏观上看,交通畅通是指车辆在路段限速下可以任意速度行驶,交通流稳定正常。交通拥挤是指道路交通流的不稳定以及车速和行驶自由度的限制。因此,对交通状态的划分实际上是对交通流在不同阶段质变的量化描述。本文参照HCM和《城市道路交通管理指标评价体系》^[17](2012)的等级划分,依据城市分类和交通管控措施的需要,将交通状态定义分为五级(表2):一(畅通)、二(基本畅通)、三(轻度拥挤)、四(中度拥挤)、五(重度拥挤)。

2.3 交通运行状态参数选取

交通状态参数可以从不同层面和粒度上反映交通流的变化过程,它是交通状态分析研究的基础,也是交通管理部门制定宏观管控措施的前提条件。有多种参数可用于反映交通状态,例如流量、速度、密度、通行能力、饱和度、延误、占有率、排队长度及车头时距等。

在实际的道路交通系统中,交通参与者最关心的是道路是否畅通,即道路上交通流的快慢。因此在进行交通参数的选取时要注意参数的广泛性、全面性、可靠性等特征,可以将路段平均行程速度指标作为评价交通运行状态的参数。但是仅用平均行驶速度这一单一指标还不足以对道路交通运行状态全面分析。交通流量^[18]表征的是在单位时间内(通常是在两个方向,如特指时可为某个方向或特

定车道)通过某一路段的车辆或行人的数量。从交通流的三大基本参数出发,选取流量为补充参数。

2.4 基于GPS浮动车数据的路段行程速度估计

针对获取到的浮动车数据包含车辆GPS上传数据时的地点、时间以及瞬时速度等特点,采用速度—时间积分模型,通过对浮动车的速度进行积分得到车辆通过的路段区间距离,再由车辆通过路段起、终点的时间计算出行程时间 T ,进而得到平均行程速度。通过对车辆GPS速度的积分,可以得到汽车的行驶距离。设研究路段长度 L ,按照公式(4)求得路段距离。

$$L = \int_{t_0}^{t_n} v dt \approx v_0 \left(\frac{t_1 - t_0}{2} \right) + \sum_{i=1}^{n-1} v_i \left(\frac{t_{i+1} - t_i}{2} \right) + v_n \left(\frac{t_n - t_{n-1}}{2} \right) \quad (4)$$

因此,车辆在行驶道路上的平均行驶速度可以表示为:

$$V_L = \frac{d}{t_n - t_0} \int_{t_0}^{t_n} v dt \quad (5)$$

式中: L 为 t_0 到 t_n 时刻车辆运动的区间距离; t_0 为的第一次定位时间; t_n 为车辆在驾驶段的最后一次定位时间; t_i 为车辆在驾驶段的第 $i+1$ 个定位时间; t_{i-1} 为车辆路段内运行时最后一个定位点对应的时间; v_0 为车辆在 t_0 时刻的瞬时速度; v_i 为车辆在行驶路段运行时第 $i+1$ 时刻的瞬时速度; v_n 为车辆在 t_n 时刻的瞬时速度。

假设在时间间隔 T 内,某路段上有 n 辆浮动车辆,则收集到的浮动车辆的瞬时速度分别为 $v_{n1}, v_{n2}, v_{n3}, \dots, v_{ni}$ 。则在周期 T 内某路段的交通流运行速度是所有车辆平均行驶速度的算术平均值:

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{ni} \quad (6)$$

式中: \bar{V} 是周期 T 内某路段的平均行驶速度; n 为通过某一路段的车辆总数; V_{ni} 为第 i 辆车在路段上的平均行驶速度。

3 基于AGNES算法的数学模型与交通状态划分

3.1 AGNES聚类算法概述

层次聚类算法是对输入的数据进行层次分解,直到满足一定的条件^[19]。凝聚层次聚类代表是AGNES算法,这种算法是Kaufman和Rousseeuw PJ提出的,它采取自下而上的战略。首先将每个数据视为一个簇,然后根据一定的相似性度量将这些簇逐渐合并成一个大簇,直到达到初始设定的簇数为止^[20-21]。

AGNES算法主要的优点:与K-均值等方法相

比,不需要预先设置簇的个数;采用自下而上的策略,聚类速度快;聚类的层次关系清晰。

AGNES算法主要的缺点:合并点的选择比较困难,可能会使聚类效果不够说服力,可扩展性差,有时间和空间复杂度高的特性。

3.2 基于AGNES算法的聚类模型

3.2.1 基于AGNES算法的交通流数据处理

通过以上概述可知AGNES算法的缺点主要在于时间复杂度和空间复杂度较高,但这是在数据量较大时无法避免的,因此结合AGNES算法的优点以及本文选的交通参数数据的特点进行以下处理:

1)不考虑初始聚类中心

以每个数据样本为聚类中心,与其他数据样本连续聚类,直至融合成一个或一组聚类类型,避免了初始聚类中心需要人工干预、难以获取和扩展性差的问题。

2)综合交通流数据特征

因为交通流量与行程速度一般不是线性关系,聚类时单纯的只考虑路段流量或行程速度的关系有可能导致聚类结果不准确的情况发生。基于此,此文算法以路段流量和车辆速度坐标点 $X_{q,v}$ 为聚类样本点,消除两者并不对应的因素。其中, $X_{q,v} \in X, X$ 是数据样本集, $q \in Q, Q$ 为流量样本集, $v \in V, V$ 为速度样本集。

3.2.2 相似性度量

聚类算法的相似性度量就是数据样本聚类的判断规则。为了提高聚类精度,本文利用的欧氏距离的方法进行聚类距离判别。经过预处理后样本数据集设为 $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$,其中, n 表示数集的个数。 $X_{qi} = \{X_{q1}, X_{q2}, X_{q3}, \dots, X_{qn}\}$, $X_{vi} = \{X_{v1}, X_{v2}, X_{v3}, \dots, X_{vn}\}$,为了表述两个样本点在数据集 X 上的贴合程度,提高聚类精度,使用欧式距离定义式(7)。

$$D(q, v) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{qi} - X_{vi})^2} \quad (7)$$

3.2.3 算法流程

将采集到的交通流数据经处理后,建立AGNES聚类算法模型(图1)。

1)输入交通流数据样本,将样本都视为一个簇,定义输出簇的个数阈值 K 。

2)根据欧氏距离的计算公式找到距离最近的两个簇 q_i 和 v_i 。

3)不断合并距离相近的两簇,使之成一个新簇。

4)直到当前簇的个数达到设定的阈值 K ,输出。

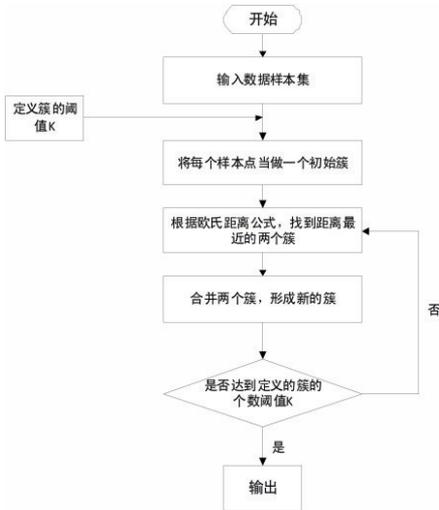


图 1 AGNES 算法流程

4 实例分析

4.1 研究范围

本文以宿州市路网为研究对象,研究区域包括 23 个路段,包括汴河中路、淮海中路等主干路,西昌南路、环城北路等次干路,以及顺河路、中山街等支路(图 2)。文章首先根据上述数据处理方法,对数据进行修复和处理,然后利用 AGNES 算法对数据进行聚类分析。数据处理和实例分析均在安徽省煤勘探工程技术中心交通工程实验室内进行。



图 2 研究区域路网概况

4.2 主干路聚类分析

经过数据处理,共筛选出 4 条主干路 1 596 组数据。采用 AGNES 算法对研究区主干路的评价指标参数进行聚类(图 3)。根据道路的交通流量和平均行程速度的聚类结果将交通运行状态进行了等级划分,并确定了流量和速度的不同等级的区间值(表 3)。

从图 3 中可以发现研究区主干路的临界车速为 46 km/h,满足宿州市部分主要道路限速 60 km/h 的实际情况。与表 1 标准相比,宿州市主干道严重拥堵临界值为 20 km/h,低于 C、D 类城市 21 km/h 的标准值。

表 3 主干路聚类下交通运行状态划分情况

状态等级	路段流量 Q (veh/min/km)	路段平均行程速度 /(km·h ⁻¹)
畅通	0 ≤ Q ≤ 6	46 ≤ V
基本畅通	5 ≤ Q ≤ 15*	38 ≤ V < 46
轻度拥堵	14 ≤ Q ≤ 21*	29 ≤ V < 38
中度拥堵	20 ≤ Q ≤ 28*	20 ≤ V < 29
重度拥堵	0 ≤ Q ≤ 19*	0 ≤ V < 20

注: *两列数据综合考虑,边界有交叉或间断。表 4 同。

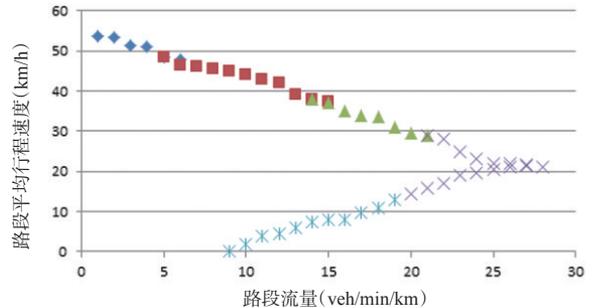


图 3 主干路交通运行状态评价聚类

4.3 次干路聚类分析

对研究区内 19 条次干道和支路的交通流数据进行处理,共筛选出 2 484 组数据,按照 AGNES 算法进行聚类,得到次干道和支路的交通运行状态聚类结果(图 4),同时也获得了次干路、支路不同等级的交通状态下流量和速度的不同区间值(表 4)。

表 4 次干路及支路聚类下交通运行状态划分情况

状态等级	路段流量 Q (veh/min/km)	路段平均行程速度 /(km·h ⁻¹)
畅通	0 ≤ Q ≤ 5	38 ≤ V
基本畅通	5 ≤ Q ≤ 9	32 ≤ V < 38
轻度拥堵	10 ≤ Q ≤ 18	21 ≤ V < 32
中度拥堵	18 ≤ Q ≤ 21	8 ≤ V < 21
重度拥堵	0 ≤ Q ≤ 17	0 ≤ V < 8

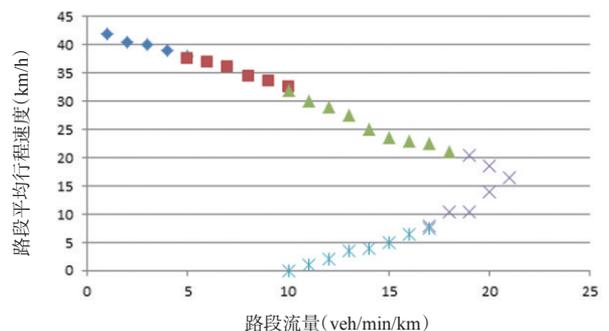


图 4 次干路及支路交通运行状态聚类

通过对聚类所得到的不同交通状态的区间值与规范值比较,发现次干路的中度和重度拥堵阈值低于表 2 中的规范值,原因可能与所选研究区域的

道路条件有关。研究区内大部分支路为双向单车道,道路红线普遍低于2 m。

5 结论与展望

本文以GPS浮动车轨迹数据为基础,运用数理统计方法对数据进行了修复和预处理,得到了准确的浮动车数据。在此基础上选取了路段行程速度和交通流量作为评价参数,并提出了基于速度—时间积分的路段行程速度数学估算模型。然后以宿州市主城区道路作为研究对象,采用AGNES聚类算法对道路的交通流量和平均行程速度进行了分析,根据聚类结果将道路交通运行状态进行了等级划分并确定了不同等级的区间值,得出如下主要结论:

1)研究区主干路的临界车速为46 km/h,满足宿州市部分主要道路限速60 km/h的实际情况。但宿州市主干道严重拥堵临界值为20 km/h,低于C、D类城市21 km/h的标准值。可能的原因有道路路幅

宽度低、路段交叉口过多、信号配时设计不合理等,后期可做专门研究。

2)次干路的中度和重度拥堵阈值低于规范值,原因可能是研究区内大部分支路为双向单车道,道路红线普遍低于2 m,车道较窄、机非混行导致车速较低,进而降低拥堵阈值。

研究结果有助于交通管理部门了解区域内的交通运行状况,对区域内的交通状况做出更清晰的定位,从宏观上制定相关政策改善交通状况,同时也有助于决策者更好的规划和完善道路体系,从而更有效地提高道路运行效率、缓解城市交通拥堵现状。然而,研究没有综合考虑交叉口和整个路网的交通状况,可能导致分析结果与实际情况出现一定偏差。今后的研究中,会进一步探索基于浮动车数据的城市交通运行状态研究标准,提高交通状态研究的准确性,从时间和空间的角度分析和研究城市路网的交通变化规律,为交通管理者和交通参与者做出管理和旅行决策。

参考文献:

- [1] 孙超,王波,张云龙,等.基于一种交通状态系数的城市路网交通状态评价研究[J].公路交通科技,2011(5):117-124.
- [2] 林明文.基于实时交通流检测的道路交通状态判定系统[D].大连:大连理工大学,2009.
- [3] MEHDI A, YUNLONG Z. Categorizing freeway flow conditions by using clustering methods[M]// Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2010.
- [4] RITCHIE S G, CHEU R L. Simulation of freeway incident detection using artificial neural networks[J]. Transportation Research Part C Emerging Technologies, 1993, 1(3): 203-217.
- [5] CHEN S, WANG W, ZUYLEN H V. Construct support vector machine ensemble to detect traffic incident[J]. Expert systems with applications, 2009, 36(8): 10976-10986.
- [6] 郭恒明,张鹏飞.基于环形线圈的城市道路段交通异常自动检测方法研究[J].上海公路,2001(4):32-35.
- [7] 王伟,杨兆升,李貽武,等.基于信息协同的子区交通状态加权计算与判别方法[J].吉林大学学报:工学版,2007(3):38-41.
- [8] 黄艳国,许伦辉,邝先验.基于模糊C均值聚类的城市道路交通状态判别[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2015,034(2):102-107.
- [9] 郝媛,徐天东,孙立军.基于模糊的城市快速路交通流状态判别[J].公路工程,2008(2):97-102.
- [10] 聂增国.城市道路交通状态评价研究[D].济南:山东大学,2018.
- [11] 郭敬.基于浮动车数据的北京市道路交通运行状态评价指标与方法[D].北京:北京交通大学,2006.
- [12] 草克土.基于浮动车数据的交通状态分析研究[D].乌鲁木齐:新疆大学,2019.
- [13] 张映.基于凝聚层次聚类的城市道路交通运行状态评价研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018.
- [14] 苟锡荣.基于GPS浮动车的城市交通状态时空分布规律研究[D].昆明:昆明理工大学,2013.
- [15] NATIONAL RESEARCH COUNCIL. HCM2010: highway capacity manual[M]. 5th ed. Washington: Transportation Research Board, 2010.
- [16] 马亚坤.高速公路隧道出口与服务区最小间距研究[D].西安:长安大学,2013.
- [17] 公安部交通管理局,建设部城市建设司.城市道路交通管理评价体系[EB/OL].(2012-08-15)[2019-03-10].<https://wenku.baidu.com/view/20e4368f84868762caaed5a1.html>.
- [18] 王建军,严宝杰.交通调查与分析[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [19] 缪元武.基于层次聚类的数据分析[D].合肥:安徽大学,2013.
- [20] KAUFMAN L, ROUSSEEUW P J. Finding groups in data: an introduction to cluster analysis[M]. Trier: DBLP, 1990.
- [21] 方匡南.基于数据挖掘的分类和聚类算法研究及R语言实现[D].广州:暨南大学,2007.