



# 高速公路多源数据融合下的层次拥堵区间探测方法

方志祥<sup>1</sup> 黄守倩<sup>1</sup> 苏荣祥<sup>1</sup> 肖和平<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

<sup>2</sup> 湖南省交通运输厅科技信息中心,湖南 长沙,410083

**摘要:**随着我国经济的发展及城市化建设的推进,交通拥挤问题日益突出。作为城际之间生命线的高速公路在节假日期间的拥堵情况尤为严重,为了更有效地管理高速公路、及时疏导交通拥堵,需要对高速公路上的拥堵事件进行探测,实现对高速公路路段交通状态的监管。首先利用高速公路路段识别点的识别数据、收费系统的收费流水数据和“两客一危”重点车辆的全球定位系统(global positioning system, GPS)轨迹数据,构建了多源数据融合下的层次拥堵区间探测方法;然后采用模糊综合评价算法,对多层次路段的交通状态进行识别;最后,利用湖南省长株潭城市群区域2018年2月中两周的数据进行了实际探测和结果分析。

**关键词:**高速公路拥堵识别;多源数据;层次区间探测;模糊综合评价算法

**中图分类号:**P208

**文献标志码:**A

随着我国经济的发展以及城市化建设的推进,城市之间的联系也越发紧密,高速公路成为城际之间的生命线。然而由于天气、路面状况及突发事件等诸多因素,高速公路常会出现交通拥挤的问题。为了对高速公路进行更好的监管,需要利用可获取的数据对高速公路上的交通状态进行识别,以获取相关信息。

目前对于高速公路拥堵事件的研究主要可分为两方面:一方面是对高速公路的拥堵事件进行定义、模拟和影响因素分析<sup>[1-4]</sup>;另一方面是采用数据及合适的方法对高速公路的拥堵事件进行识别,采用的数据主要有高速公路上设置的感应器(线圈等)数据<sup>[5]</sup>、实时采集的高速公路联网收费数据<sup>[6]</sup>、高速公路监控设备的视频图像数据<sup>[7]</sup>以及浮动车轨迹数据<sup>[8-10]</sup>等,采用的识别方法主要有经典统计判别方法<sup>[11]</sup>、机器学习方法<sup>[12-13]</sup>和其他判别方法等<sup>[14-17]</sup>。

本文利用高速公路上路径识别系统的识别数据、联网收费数据和“两客一危”重点车辆的全球定位系统(global positioning system, GPS)轨迹数据等3类数据,采用模糊综合评价算法进行高速公路路段的交通状态识别,构建了多层次的拥

堵区间探测框架,从而实现对高速公路多层次的交通状态识别,为高速公路的管理提供帮助。

## 1 多源交通数据及预处理

### 1.1 路径识别系统识别数据

路径识别系统是在高速公路的重要位置上布设摄像头,对该位置经过的车辆进行实时检测,检测数据包括车牌号码、识别站点编码、识别设备编码和识别时间。

对上述数据主要进行以下预处理:(1)无车牌记录过滤,剔除无车牌信息的记录;(2)剔除重复记录,同一高速公路行驶方向上会布设两台设备,这两台设备可能会同时记录到经过的同一台车,因此需要去除重复的记录。

### 1.2 联网收费系统收费流水数据

高速公路联网收费系统中的收费流水数据包括车辆号牌、出入收费站的编码、出入收费站的名称、出入收费站的时间、车型、车种和收费额等。

对上述数据进行以下数据清洗的工作:(1)车辆进出站的收费站编码相同,本文方法不考虑该情况,予以剔除;(2)进出的收费站信息有所缺失,

收稿日期:2019-05-07

项目资助:国家重点研发计划(2017YFB0503802)。

第一作者:方志祥,博士,教授,主要研究方向为时空地理信息系统、人类活动大数据时空建模与分析 and 行人导航理论与方法。zx-fang@whu.edu.cn

无法对进出的收费站进行识别,予以剔除;(3)进出收费站信息完整,但不存在于收费站列表中,视为错误数据予以剔除;(4)去除重复记录的数据。

### 1.3 “两客一危”重点车辆的 GPS 轨迹数据

“两客一危”重点车辆一般指长途客运汽车、旅游汽车和危险品运送车辆。该类车辆的 GPS 轨迹数据信息包括车辆号牌、记录时间、经度、纬度、速度、方向角、行驶里程等。

对上述轨迹数据进行以下数据清洗的工作:(1)剔除重复的数据;(2)剔除方位角大于  $360^\circ$  或者小于  $0^\circ$  的数据;(3)计算相邻两点之间的平均速度,若大于  $150 \text{ km/h}$ ,则予以剔除。除此以外,还需要对轨迹点数据进行地图匹配,即判断轨迹点实际在高速公路上的所属路段。首先对研究区域路段作缓冲区分析;然后将路段缓冲区与轨迹点作相交处理,以此筛选出路段上的轨迹点;最后对轨迹点和路段作近邻分析,确定轨迹点所属的道路段。

## 2 层次拥堵区间探测方法

利用§1中的3类数据,进行层次拥堵区间探测,主要步骤如图1所示。该方法综合了多源数据中包含的交通流状态信息,构建了固定点与轨迹流数据层次融合的拥堵区间探测框架,利用多源数据进行拥堵区间探测,使拥堵区间探测结果更为可靠,可以得到多层次的拥堵区间分布结果,通过判断条件可减少细粒度层次的数据计算量,提高探测速度。

### 2.1 高速公路路网层次划分规则

高速公路路网上布设有收费站和路径识别点设备,由站点和设备所在位置对路网进行三层次的划分,3个层次分别由以下3个规则划分得到。

路网划分规则1:根据高速公路上路径识别点的位置进行划分,若边界无布设的识别点,则使用附近的收费站位置代替,得到收费站-识别点、识别点-识别点和识别点-收费站3种类型的基本路段。

路网划分规则2:在第一层次基础上,根据收费站位置再划分,第一层次中的每一路段又可被分为识别点-收费站、收费站-收费站和收费站-识别点3种类型的基本路段。

路网划分规则3:在第二层次的基础上,根据道路长度再进行细分,由于在第三层次需用轨迹点数据进行交通状态判断,考虑到高速公路的设计以及轨迹点数据的稀疏性,为了保证细分后道路上的轨迹点数目覆盖,采用  $1 \text{ km}$  的道路长度进行划分。

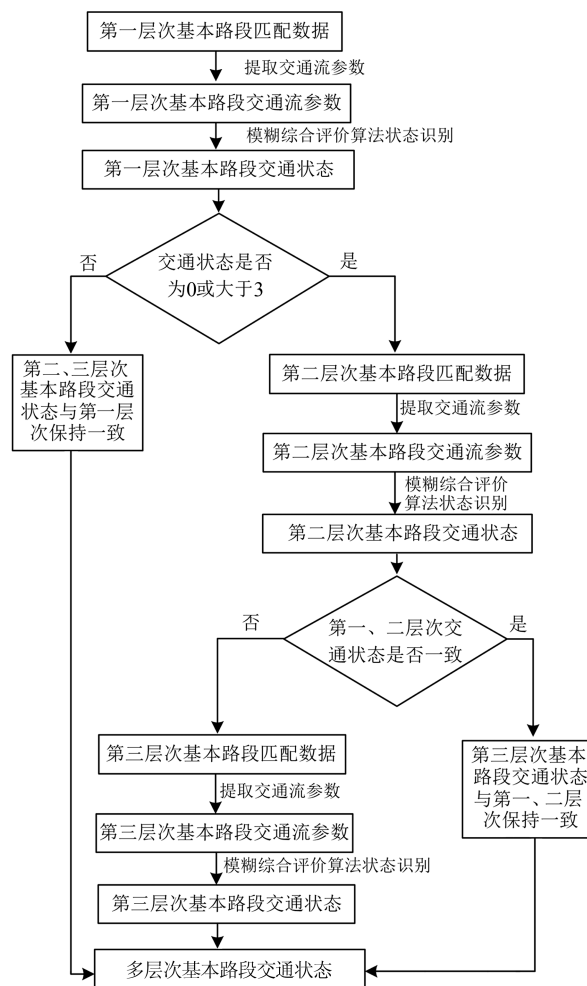


图1 多源数据融合下的层次拥堵区间探测流程

Fig.1 Detection Process of Hierarchical Congestion Interval Using Multi-source Data

### 2.2 多层次多源数据匹配规则

多源数据的匹配是为了提取各层次高速公路基本路段上的车流交通参数信息。在对3类数据源进行了预处理后,按每小时再对这3类数据进行划分,得到1天中的各类数据。点数据的识别需要根据站点和设备编码,提取出不同方向上每个站点的识别记录;对于流水数据需要根据进出口的收费站编码,区分各收费站的进出口车辆记录。在此基础上,再进行多层次多源数据的匹配,三层次的匹配规则如下。

多源数据匹配规则1:分别实现识别系统识别数据之间、识别系统识别数据与收费站收费数据之间的匹配。对于前者,需要根据基本路段两端的识别点站点编码,提取出两个站点的识别数据记录,再根据车牌号码获取同一车辆分别经过两个站点的时间。对于后者,若是收费站-识别点构成的路段,则需要获取该收费站的入口车辆号牌和时间信息,根据车牌获取同一车辆进入收费站的时间和

经过识别点的时间;若是识别点-收费站构成的路段,则需要获取收费站的出口车辆号牌和时间信息,同样根据车牌信息时间获取同一车辆经过识别点的时间和离开收费站的时间。

多源数据匹配规则2:分别实现识别系统识别数据与收费站收费数据之间、收费站收费数据之间的匹配,匹配规则同规则1。

多源数据匹配规则3:使用经过预处理和地图匹配后的“两客一危”重点车辆轨迹数据,计算同一车辆相邻两点(A、B)间的平均速度,最后一个轨迹点的平均速度则用其瞬时速度代替,计算公式如下:

$$V_0 = \frac{S}{t_B - t_A} \quad (1)$$

$$S = 2R \cdot$$

$$\arcsin \sqrt{(\sin \frac{a}{2})^2 + \cos(L_A) \cdot \cos(L_B) + (\sin \frac{b}{2})^2} \quad (2)$$

式中, $V_0$ 是处理后的轨迹点的平均速度; $S$ 是两个轨迹点之间的距离; $t_A$ 、 $t_B$ 是两个轨迹点的记录时间; $R$ 是地球的赤道半径; $a$ 是两点纬度的差值; $b$ 是两点经度的差值; $L_A$ 和 $L_B$ 则是两点的纬度值。

### 2.3 固定点与轨迹流数据层次融合的拥堵区间探测方法

采用平均车流速度和平均延误时间两个参数<sup>[14]</sup>来表征交通流的运行状态,其中,平均车流速度是指在某个基本路段上车流行驶的平均速度。设基本路段上车流的平均速度为 $\bar{V}$ ,第 $i$ 辆车在基本路段上的平均速度为 $\bar{V}_i$ ,计算公式如下:

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=0}^N \bar{V}_i}{N} \quad (3)$$

$$\bar{V}_i = \frac{l_j}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

式中, $N$ 为基本路段上某时间段内的车辆总数; $l_j$ 为第 $j$ 个基本路段的弧长; $t_1$ 、 $t_2$ 分别表示车辆经过基本路段首、尾两端的时间。

行程延误指的是在道路上测得的车辆实际行程时间与该路段设计行驶速度行驶时间之差<sup>[18]</sup>,平均延误时间 $\bar{T}$ 是在某个基本路段上车流通过的延误时间的平均值,计算公式如下:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=0}^N \Delta T(i, j)}{N} \times \frac{1}{l_j} \quad (5)$$

$$\Delta T(i, j) = T(i, j) - T_0(i, j) \quad (6)$$

式中, $\Delta T(i, j)$ 为第 $i$ 辆车经过基本路段 $j$ 的行程延误时间; $T(i, j)$ 为第 $i$ 辆车经过基本路段 $j$ 的实

际所用时间; $T_0(i, j)$ 为按高速公路设计速度行驶通过基本路段 $j$ 所用的时间;其他字母含义同前。

本文采用模糊综合评价算法<sup>[14]</sup>判断各层次中各个基本路段的交通状态。该算法的基本原理是通过构建基本路段的交通流参数与交通状态间的模糊映射关系,来实现对各级路段交通状态的判断。该映射关系的构建步骤如下:

1)建立高速公路交通状态评判对象因素集 $U = [\bar{V}, \bar{T}]$ ,评判对象因素为选取的两个交通流参数,即平均车流速度 $\bar{V}$ 与平均延误时间 $\bar{T}$ 。

2)建立高速公路交通状态评判结果集 $F = [f_1, f_2, f_3, f_4, f_5]$ 。根据我国公路各级服务水平的交通流状态划分标准<sup>[19]</sup>,本文将高速公路的交通状态划分为5类, $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_4$ 、 $f_5$ 分别对应了畅通、较畅通、较拥挤、拥挤和拥堵这5类交通状态。

3)建立单因素评判。构建从评判对象因素集 $U$ 到结果集 $F$ 的单一因素映射,通过计算隶属度函数,分别计算得到平均车流速度 $V$ 相对于5类交通状态的隶属度函数值 $R_1 = [\mu_1(V), \mu_2(V), \mu_3(V), \mu_4(V), \mu_5(V)]$ ,以及平均延误时间 $T$ 的隶属度函数值 $R_2 = [\rho_1(T), \rho_2(T), \rho_3(T), \rho_4(T), \rho_5(T)]$ ,两个评价因素均采用梯型隶属度函数。根据高速公路服务水平分级表等<sup>[11,14]</sup>,确定了设计速度为120 km/h、100 km/h、80 km/h的3类高速公路以上5类状态的分界值(见表1)。以设计速度为100 km/h的高速公路为例,平均车流速度和平均延误时间因子的隶属度函数如下:

$$\mu_1(V) = \begin{cases} 0, V \leq 79 \\ (V - 79)/13, 79 < V \leq 92 \\ 1, V > 92 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_2(V) = \begin{cases} 1 - (V - 79)/13, 79 < V < 92 \\ (V - 71)/8, 71 < V \leq 79 \\ 0, V \leq 71 \text{ 或 } V \geq 92 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_3(V) = \begin{cases} 1 - (V - 71)/8, 71 < V < 79 \\ (V - 52)/19, 52 < V \leq 71 \\ 0, V \leq 52 \text{ 或 } V \geq 79 \end{cases} \quad (9)$$

$$\mu_4(V) = \begin{cases} 1 - (V - 52)/19, 52 \leq V \leq 71 \\ 0, V < 52 \text{ 或 } V > 71 \end{cases} \quad (10)$$

$$\mu_5(V) = \begin{cases} 0, V \geq 52 \\ 1, V < 52 \end{cases} \quad (11)$$

$$\rho_1(T) = \begin{cases} 1, T \leq 0.25 \\ (0.5 - T)/0.25, 0.25 < T \leq 0.5 \\ 0, T > 0.5 \end{cases} \quad (12)$$



$$\rho_2(T) = \begin{cases} 1 - (0.5 - T)/0.25, & 0.25 < T \leq 0.5 \\ (0.83 - T)/0.33, & 0.5 < T \leq 0.83 \\ 0, & T \leq 0.25 \text{ 或 } T > 0.83 \end{cases} \quad (13)$$

$$\rho_3(T) = \begin{cases} 1 - (0.83 - T)/0.33, & 0.5 < T \leq 0.83 \\ (1.17 - T)/0.34, & 0.83 < T \leq 1.17 \\ 0, & T \leq 0.5 \text{ 或 } T > 1.17 \end{cases} \quad (14)$$

$$\rho_4(T) = \begin{cases} 1 - (1.17 - T)/0.34, & 0.83 \leq T \leq 1.17 \\ 0, & T < 0.83 \text{ 或 } T > 1.17 \end{cases} \quad (15)$$

$$\rho_5(T) = \begin{cases} 1, & T > 1.17 \\ 0, & T \leq 1.17 \end{cases} \quad (16)$$

表 1 隶属度函数分界值

Tab.1 Boundary Values of Membership Function

分界点	平均车流速度/(km·h <sup>-1</sup> )			平均延误时间/min
	高速公路 1	高速公路 2	高速公路 3	
	(设计速度:120 km/h)	(设计速度:100 km/h)	(设计速度:80 km/h)	
1	108	92	74	0.25
2	90	79	66	0.50
3	78	71	60	0.83
4	53	52	48	1.17

4) 进行综合因素评判。选择加权平均型综合函数综合单因素评判的结果, 计算公式如下:

$$B = A \circ R = [b_1, b_2, b_3, b_4, b_5] \quad (17)$$

$$A = [a_1, a_2] \quad (18)$$

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$b_1 = a_1 \cdot \mu_1(V) + a_2 \cdot \rho_1(T) \quad (20)$$

式中,  $B$  是综合评价矩阵, 其中  $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  5 个数值分别对应了 5 类交通状态, 可用数字 1~5 表征, 由  $A$  与  $R$  进行加权平均综合计算得到, 选择  $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  5 个数值中较大的一个数值对应的评判结果作为高速公路基本路段的交通状态;  $A$  为模糊集, 代表单因素用于综合评价的权重, 可采用层次分析法进行定性分析和定量计算, 根据文献[20]确定模糊集中的权重,  $a_1 = 0.63, a_2 = 0.37$ ;  $R$  是单因素评价矩阵。此外, 若某基本路段无匹配数据, 则无法提取交通流参数, 其交通状态赋值为 0。

完成上述步骤后, 再对多层次拥堵区间进行探测: (1) 对第一层次的高速公路各基本路段进行探测, 若交通状态为 0 或 3 及以上, 则进入第二层次判断, 否则其第二层次划分的各基本路段状态与第一层次相同。(2) 对第二层次的高速公路各基本路段交通状态进行判断, 若与第一层次相同, 则第三层次划分的各级本路段状态与第一、二层次状态一致; 若与第一层次状态不符, 则进入第三层次判断。(3) 对第三层次划分的各基本路段交通状态进行判断。由此可以得到高速公路在 3 个层次下的基本路段区间交通状态分布,

其中第三层次是在第一、二层次的基础上, 既利用了识别系统识别数据和收费站收费数据辅助判断, 提高了判断效率, 又利用了重点车辆轨迹数据, 保证了判断的细粒度。

本文算法中用到的路径识别系统识别数据、联网收费系统收费流水数据、“两客一危”重点车辆 GPS 轨迹数据等 3 类数据在用于道路拥堵分析时各有优缺点, 收费系统收费流水数据的信息丰富且全面, 高速公路上所有行驶车辆均在收费流水数据中都有记录; 路径识别系统的识别数据是由布设在高速公路上某处断面的监控设备所获得的, 可获取某断面某时刻经过的车辆信息, 较收费站流水数据更能获取到具体高速公路路段上的车辆行驶信息。利用这两类数据进行数据匹配, 可以获取高速公路路段区间上丰富的车辆信息, 从中提取的交通流参数更能反映整体车流的行驶情况, 可弥补解决“两客一危”重点车辆 GPS 轨迹数据代表车辆不全面的问题。而在某些细分的路段, 收费站数据与识别点数据匹配的数据量较少的情况下, 可利用重点车辆 GPS 轨迹数据实现对车流的采样, 利用轨迹数据较细粒度的特征, 弥补由于匹配数据较少造成的问题。

### 3 研究区域与数据

#### 3.1 长株潭城市群区域

长株潭城市群指的是由长沙、株洲和湘潭 3 个相邻的城市组成的城市群。长株潭城市群是湖南省经济发展和城市化的核心地区, 城市群之间的经济交流和联系密切, 因此对城市群之间



的交通运行状态进行监管更为重要。本文选取长株潭城市群区域高速公路路网作为实验对象,并利用2018年2月1日—7日,以及2月16日(春节)前后(2月13、14、17、18、21、22、23日)的数据进行实验和分析。

### 3.2 高速公路路网划分处理

根据高速公路路网的设计,可以将长株潭城市群区域内的高速公路路网划分为22条高速公路路段,是本文算法的研究对象单元,其中炎陵高速的设计速度为80 km/h,长湘高速、长株高速、潭邵高速、醴潭高速、京港澳高速和长益高速的设计速度为120 km/h,其余高速公路的设计速度均为100 km/h。对于划分的22条高速公路路段还需要进行多层次双向车道的划分,每条高速公路区分上、下行后,再进行3个层次的路网划分。

## 4 高速公路多层次拥堵探测结果分析

### 4.1 长株潭区域高速公路3个层次交通状态分布

长株潭区域高速公路在2018-02-01 09:00—10:00内,上行和下行路段的3个层次交通状态的分布情况如图2所示。由图2中可直观地发现,上行路段比下行路段中出现拥堵的路段数目更多,且拥堵多发生在多条高速公路的交叉位置处。

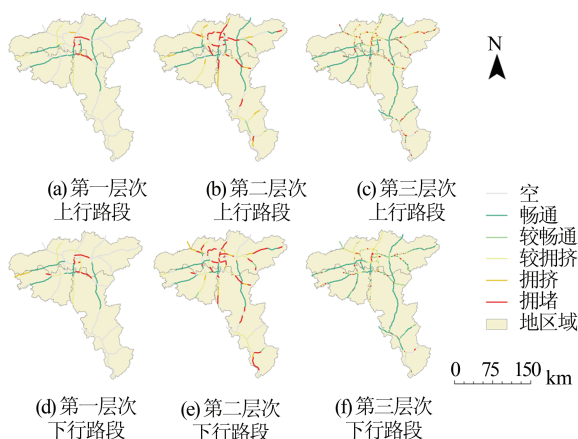


图2 3个层次高速公路路网交通状态分布

Fig.2 Traffic Status Distribution of Highway Network on Three Levels

### 4.2 交通拥堵比例分布变化分析

对§4.1中得到的路网交通状态进行多层次识别后,分别统计每天第三层次中上行路线、下行路线各个基本路段出现拥堵的比例,即1天内出现拥堵状态的时间所占比例。比例低于4%的路段不易发生拥堵,而比例高于40%的路段易发生

拥堵,由此可分析1 d内易发生拥堵的路段的分布情况。以春节前后的交通状况作为分析示例,结果如图3、图4所示。

由图3、图4可知,春节前后易发生拥堵的路段的区域分布具有显著的规律,在春节假期过后的第一天(2月22日)无论是上行还是下行路线都出现了拥堵,且这些路段集中分布在去往长沙的路线上,这说明春节过后有许多人返回长沙,原因可能与务工等有关。

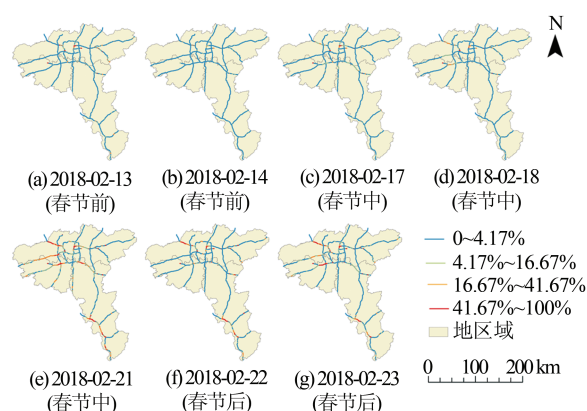


图3 第三层次上行路线基本路段春节前后拥堵比例  
Fig.3 Up Lanes' Ratio of Congestion Before and After the Spring Festival on the Third Level

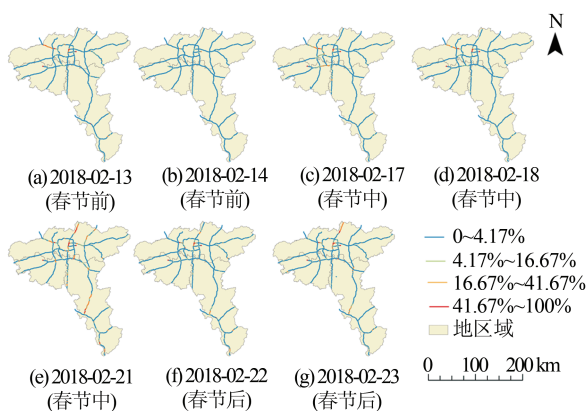


图4 第三层次下行路线基本路段春节前后拥堵比例  
Fig.4 Down Lanes' Ratio of Congestion Before and After the Spring Festival on the Third Level

### 4.3 交通拥堵路段数目变化分析

对§4.2中得到的拥堵的基本路段数目进行统计,可得出第三层次中上、下行路段拥堵的基本路段数目随时间变化的规律,同样以春节前后为例(见图5)。由图5可知,春节前、后拥堵数目有显著变化,春节前、后的拥堵路段数目约为100条,春节假期的最后一天(2月21日)是返程的高峰期,其相较于春节假期前和假期后的拥堵路段数目更多,且在16:00—18:00内拥堵数目增加

到最高,达到了400条以上,过后又有所减少。春节期间除了17:00—20:00,在凌晨1:00—3:00和

11:00—12:00也有拥堵数目增加的小高峰,这些特点与春节这个传统节日的影响是分不开的。

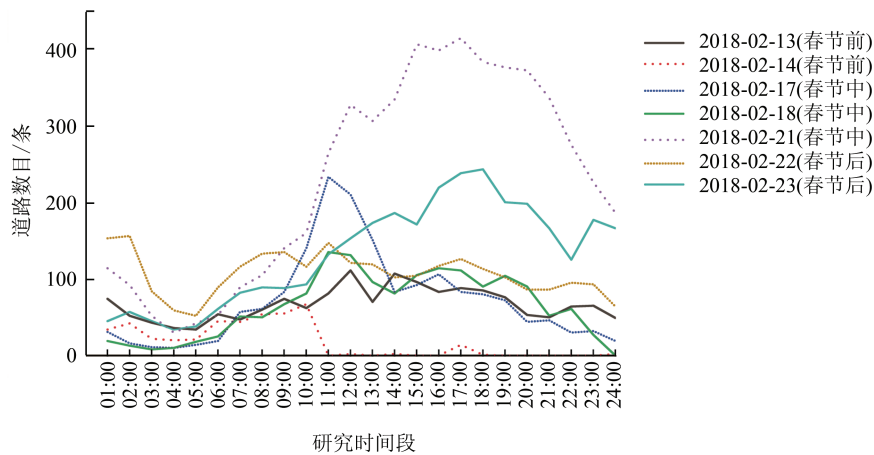


图5 第三层次拥堵路段春节前后数目变化

Fig.5 Variation of the Number of Congested Roads Before and After the Spring Festival on the Third Level

#### 4.4 本算法与仅使用轨迹数据探测拥堵的方法对比分析

将本文算法与文献[7]中仅利用GPS轨迹数据进行道路拥堵识别的方法进行对比,以2018-02-01 09:00—10:00长株潭城市群上行和下行高速公路路段的拥堵探测实验结果为例(见图6)。由图6可知,使用单一数据进行识别的结果中出现拥挤、较拥挤和拥堵状态的道路数目更多,两个算法对交通状态为拥堵的道路的识别结果较接近。

两个算法的计算时间如图7、图8所示,本文算法计算用时平均为2~3 s,对比算法计算用时平均为0.8~1.4 s,用时差距约为1~2 s。由于使用的轨迹数据为“两客一危”的轨迹点数据,存在数

据量较为稀疏的情况,在效率上差别并不显著。

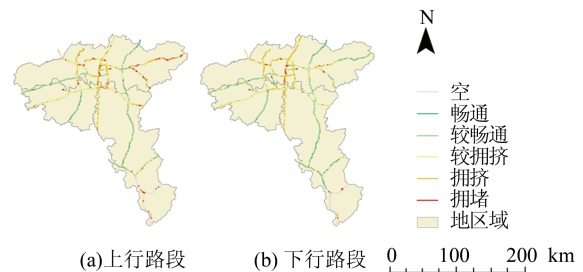


图6 对比算法高速公路路网交通状态分布

Fig.6 Traffic Status Distribution of Highway Network Calculating by the Comparing Algorithm

图9、图10展示了两种算法利用2018-02-01的数据在各研究时间内交通状态的识别结果。

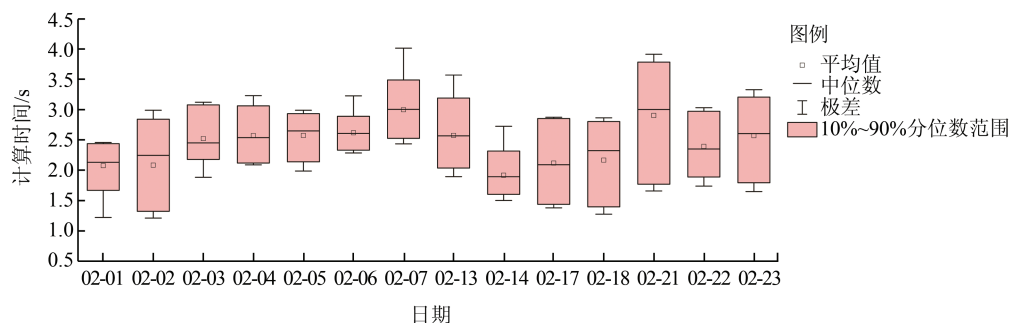


图7 本文算法用时

Fig.7 Computational Time of the Proposed Algorithm in This Paper

分析图7~图10可发现,本文算法和对比算法对于拥堵状态的道路识别结果基本一致,占比约为5%。对于介于畅通与拥堵状态之间的道路交通状态,对比算法易将其判断为交通状态更差的状态。在对比算法识别结果中,拥挤和较拥挤状

态的道路占比约为50%,畅通和较畅通状态的道路占比约为20%;在本文算法识别结果中,拥挤和较拥挤状态的道路占比约为20%,畅通和较畅通状态的道路占比约为60%。且对比算法中在某些研究时间段中无法识别状态的道路数目更多,如在

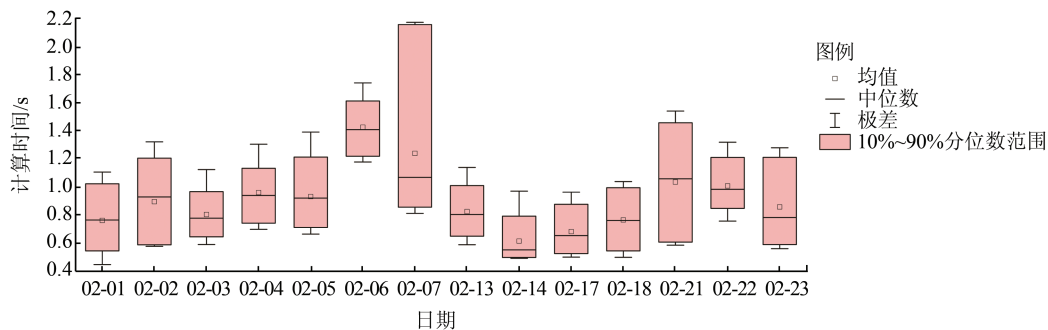


图8 对比算法计算用时

Fig.8 Computational Time of the Comparing Algorithm

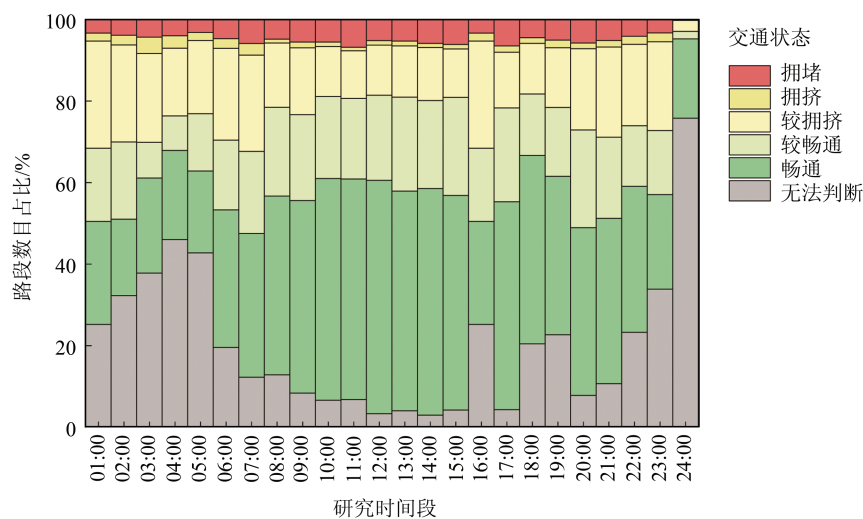


图9 本文算法识别结果

Fig.9 Recognition Results of the Proposed Algorithm in This Paper

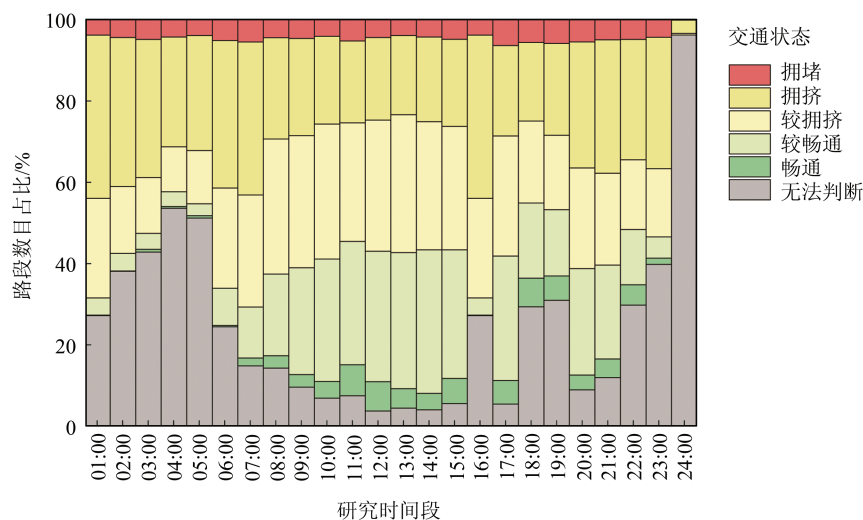


图10 对比算法识别结果

Fig.10 Recognition Results of the Comparing Algorithm

23:00—24:00内,对比算法无法识别的道路占比达到95%,而本文算法约为70%。可能是因为对比算法仅使用轨迹点数据进行状态判断,但“两客一危”轨迹点数据存在数据稀疏、速度偏低的

情况,易将交通状态判断为更低的水平,一旦出现无轨迹数据的路段就无法识别其交通状态。而本文算法从多源数据中提取交通信息,对整体交通流运行状态的反应更接近实际,且由于交通



信息更丰富,较对比算法,无法识别的道路数目更少。

## 5 结 语

本文利用多源数据(路径识别系统识别数据、联网收费系统收费数据和“两客一危”重点车辆轨迹数据)构建了高速公路的层次拥堵区间探测方法,该方法可以检测不同层次上的高速公路拥堵区间,充分利用了多源数据提供的信息,提高结果的可靠性。同时以湖南省长株潭城市群区域高速路网为例,研究了2018年2月1日—7日,以及2018年2月16日(春节)前后的高速公路路网交通状态分布变化情况,并与只使用单一的GPS轨迹数据进行交通状态识别的方法进行了对比。其中,2月16日前后去往长沙的高速公路路段呈现交通拥堵比例上升的变化,高速公路拥堵路段数目呈现先增加后减少的变化趋势。实验结果表明,该方法能有效实现对高速公路多层次的交通状态识别与快速拥堵区段定位,为高速公路的分段管理与系统提供快速分析手段。

## 参 考 文 献

- [1] Hao Yuan. Analysis of Urban Expressway Traffic Congestion and Determination of Congestion Threshold[J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2008, 36(5): 609-614(郝媛. 城市快速路交通拥挤分析及拥挤阈值的确定[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2008, 36(5): 609-614)
- [2] Dong Min'e. Traffic Congestion Prediction Algorithm for Expressway Based on Fuzzy Recognition[J]. *Science Technology and Engineering*, 2012, 12(25): 6 541-6 544(董敏娥. 基于模糊识别的高速公路交通拥挤预测算法[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(25): 6 541-6 544)
- [3] Das S. Cellular Automata Based Traffic Model That Allows the Cars to Move with a Small Velocity During Congestion[J]. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2011, 44(4): 185-190
- [4] Yang C L, Wen W. A Dynamic Highway Flow Control Simulation Model for Solving the Congestion Problem[M]. London: Wit Press, 2007
- [5] Jiang Guiyan, Gang Longhui, Wang Jiangfeng. Urban Expressway Traffic Congestion Identification Method[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2006, 6(3): 87-91(姜桂艳, 江龙晖, 王江锋. 城市快速路交通拥挤识别方法[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(3): 87-91)
- [6] Yu Fengru, Shan Fei, Zhang Xiaonan, et al. Traffic Congestion Identification on Expressways Based on Full License Plate Recognition Data[J]. *Highways and Automotive Applications*, 2014, 26(3): 56-58(余丰茹, 单飞, 张晓楠, 等. 基于全车牌识别数据的高速公路交通拥挤识别[J]. 公路与汽运, 2014, 26(3): 56-58)
- [7] Cui Hua, Ji Yu, Li Pannong. Image Congestion Identification of Expressway Traffic Based on Convolutional Neural Network(CNN)[J]. *Technology Innovation and Application*, 2018, 8(5): 18-19(崔华, 纪宇, 李盼依. 基于卷积神经网络(CNN)的高速路交通图片拥堵识别[J]. 科技创新与应用, 2018, 8(5): 18-19)
- [8] Chang A, Jiang G, Niu S, et al. Traffic Congestion Identification Method Based on GPS Equipped Floating Car[C]. International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, Changsha, China, 2010
- [9] Kong X, Xu Z, Shen G, et al. Urban Traffic Congestion Estimation and Prediction Based on Floating Car Trajectory Data[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2016, 61(C): 97-107
- [10] Jiang Guiyan, Chang Ande, Zhang Wei. Segmentation Method of Road Segments Based on GPS Floating Vehicles for Collecting Traffic Information[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2010, 35(1): 42-45(姜桂艳, 常安德, 张伟. 基于GPS浮动车采集交通信息的路段划分方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35(1): 42-45)
- [11] Wang Jiangfeng. Research on Automatic Identification Method of Traffic Congestion on Expressway[D]. Changchun: Jilin University, 2004(王江锋. 高速公路交通拥挤状态自动识别方法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2004)
- [12] De Fabritiis C, Ragona R, Valenti G, et al. Traffic Estimation and Prediction Based on Real Time Floating Car Data[C]. International Conference on Intelligent Transportation Systems, Beijing, China, 2008
- [13] Dong Yingying, Yang Xuhua, Wang Wanliang. Highway Traffic Incident Detection Method Based on FART Neural Network[J]. *Journal of Mechanical and Electrical Engineering*, 2009, 26(1): 12-16(董颖颖, 杨旭华, 王万良. 基于FART神经网络的高速公路交通事件检测法[J]. 机电工程, 2009, 26(1): 12-16)
- [14] Tian Shiyan, Liu Weiming. Research on Real-time Traffic Status Discrimination Method of Road Sections Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation

- [J]. *Science Technology and Engineering*, 2010, 10(29): 7 206-7 210(田世艳, 刘伟铭. 基于模糊综合评价的路段实时交通状态判别方法研究[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(29): 7 206-7 210)
- [15] Jiang G, Niu S, Chang A, et al. Automatic Traffic Congestion Identification Method of Expressway Based on Gain Amplifier Theory [C]. International Conference on Advanced Computer Control, Shenyang, China, 2010
- [16] Fu Zisheng, Li Qiuping, Liu Lin, et al. Refinement of Road Congestion Using GPS Trajectory Secondary Clustering Method [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2017, 42(9): 1 264-1 270(付子圣, 李秋萍, 柳林, et al. 利用GPS轨迹二次聚类方法进行道路拥堵精细化识别[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2017, 42(9): 1 264-1 270)
- [17] Zou Haixiang, Yue Yang, Li Qingquan. Improved Kriging Estimation Method for Urban Road Network Traffic Status [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(1): 101-104(邹海翔, 乐阳, 李清泉. 城市路网交通状态的改进Kriging估计方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(1): 101-104)
- [18] Yuan Jingjin, Yuan Zhenzhou. Analysis and Application of Service Level Evaluation System Index of Signal Intersection [J]. *Technology of Highway and Transport*, 2006, 22(4): 145-149(袁晶晶, 袁振洲. 信号交叉口服务水平评价体系指标的分析及应用[J]. 公路交通技术, 2006, 22(4): 145-149)
- [19] Zhang Qisen, Zhang Yaping. Analysis of Road Capacity [M]. Beijing: People's Communications Press, 2002(张起森, 张亚平. 道路通行能力分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002)
- [20] Wang Yaqing. Study on Comprehensive Evaluation of Urban Traffic Operation [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2006(王亚晴. 城市交通运行状况综合评价研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2006)

## Detecting Hierarchical Congestion Intervals Based on the Fusion of Multi-source Highway Data

FANG Zhixiang<sup>1</sup> HUANG Shouqian<sup>1</sup> SU Rongxiang<sup>1</sup> XIAO Heping<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

<sup>2</sup> Hunan Provincial Department of Transportation Science and Technology Information Center, Changsha 410083, China

**Abstract:** With the development of economy and urbanization in China, the issue of traffic congestion is increasingly prominent. Highways as the lifelines between cities are particularly vulnerable during the holidays. In order to manage highways more efficiently and regulate traffic more timely, it is necessary to detect congestion events on highways to realize the supervision of highway traffic. Using recognition data of highway path recognition system, transactions data of toll station, and GPS trajectory data of coach buses, touring buses and dangerous goods transport vehicles, this paper proposes a hierarchical congestion interval detection method which adopts fuzzy comprehensive evaluation algorithm to identify the traffic status of road sections. Taking the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration region of Hunan province as a case study, this paper uses the proposed method to detect and analyze traffic status of the experimental area in two weeks in February, 2018.

**Key words:** highway congestion identification; multi-source data; hierarchical interval detection; fuzzy comprehensive evaluation algorithm

**First author:** FANG Zhixiang, PhD, professor, specializes in space-time GIS, spatiotemporal modeling of urban big data and pedestrian navigation. E-mail: zxfang@whu.edu.cn

**Foundation support:** The National Key Research and Development Program of China(2017YFB0503802).

**引文格式:** FANG Zhixiang, HUANG Shouqian, SU Rongxiang, et al. Detecting Hierarchical Congestion Intervals Based on the Fusion of Multi-source Highway Data[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(5): 682-690. DOI: 10.13203/j.whugis.20190117(方志祥, 黄守倩, 苏荣祥, 等. 高速公路多源数据融合下的层次拥堵区间探测方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(5): 682-690. DOI: 10.13203/j.whugis.20190117)