

浮动车数据缺失道路的速度推估模型与实现

刘 春^{1,2}, 黄美娴¹, 杨 超³

(1. 同济大学 测量与国土信息工程系, 上海 200092; 2. 现代工程测量国家测绘局重点实验室, 上海 200092;
3. 同济大学 交通工程系, 上海 200092)

摘要: 介绍了浮动车数据(FCD)的基本概念,给出了浮动车数据预处理及与地图匹配的基本流程.在对浮动车数据在路网中覆盖率分析的基础上,当路网中浮动车数据出现缺失时,利用海量的路况历史数据库,提出基于路段空间关系的道路速度多元线性回归推估模型,并推出了按周天分类的模型系数.根据实测检验结果,得到了该方法速度误差的分布概率和状态误差的分布概率,并以此分析了结合空间关系的多元线性回归模型的适用性和可靠性.最后以上海城区为例,给出了基于该方法完整的道路速度的推估与路况发布实例.

关键词: 路网; 多元线性回归; 浮动车数据; 速度推估
中图分类号: P 208; U 412 **文献标识码:** A

Estimation Model and Its Realization of Routing Velocity Under Environment of Lack of Floating Car Data

LIU Chun^{1,2}, HUANG Meixian¹, YANG Chao³

(1. Department of Surveying and Geo-informatics, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Advanced Engineering Surveying of State Bureau of Surveying and Mapping, Shanghai 200092, China; 3. Department of Traffic Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: After an introduction to the principle of floating car data (FCD), this paper puts forward the operation flow of preprocessing on FCD, and the algorithm of map-matching as well. Based on an analysis of the percentage of coverage of FCD on the road network, large quantity of heritage database of routing status is used to estimate the routing velocity when lack of FCD on parts road segments. Multi-linear regression model is then adopted by considering the spatial correlativity among the road networks, and some model parameters are determined when time interval is classified in day and week. Besides, error of velocity probability and error of status probability are achieved based on the result from field testing,

while the feasibility and reliability of the velocity estimation model is obtained as well. Finally, as a case study in Shanghai center area, the whole routing velocity in the road network is estimated and published in real time for public.

Key words: road network; multi-linear regression; floating car data; velocity estimation

一般情况下,道路交通状态可通过定点的监测设备获得,比如线圈或视频系统,然而仅通过这些监测设备很难准确得到道路上车辆通行速度和流量数据^[1].事实上,对交通流在空间和时间进行的传统观测手段已经很难完整地反映交通状态在微观和宏观上的复杂性^[2].

近年来,动态传感器技术广泛地应用于许多交通状态的识别中.浮动车数据(floating car data, FCD)技术就是一种用于确定道路网中路段速度的方法.这种方法主要通过采集大量分布的移动车辆的位置、速度和方向等信息,从而确定路网中实时通行速度.例如,通过处理车辆内置的全球定位系统(GPS)获取的信号,可获取大量的车辆的位置和速度信息,这些数据对于交通规划和管理以及建立智能交通运输系统(ITS)都是非常重要的.也就是说,每一个安装定位设备的车辆都可以充当所通行路段实时交通信息采集的移动平台.根据这些数据,可以估计交通拥挤程度,计算路段通行速度以及发布当前交通公告等^[3].

浮动车作为一种新型的城市交通信息采集平台,得到了国内外 ITS 专家和企业的一致重视,并取得了一定的理论成果和应用实施.1991 年,美国提出了基于流动车的实时路况发布系统 ADVANCE,成为动态车辆导航系统的主要试验项目^[4],试验的目的是为了客观地分析驾驶员是否需要实时信息来避免

收稿日期: 2009-05-05

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2007AA11Z206); 上海市教委科研创新资助项目(10ZZ25)

作者简介: 刘 春(1973—),男,教授,工学博士,博士生导师,主要研究方向为空间数据不确定性与 GIS 系统集成应用.

E-mail: liuchun@tongji.edu.cn

拥堵从而提高通行能力.德国的交通数据系统 DDG 使用了 4000 个路面交通传感器和 25000 辆来自宝马和大众的采集车,分别对每个原始设备制造商(OEM)提供服务^[5].英国的 Traffic master 从 1998 年私营公司开始收集和处理交通数据,并提供一系列的交通信息服务^[6],数据主要来自于固定的传感器,并由 FCD 补充.我国的智能交通建设相对而言起步较晚.各大院校、科研机构和企业单位先后开展了浮动车交通信息采集与处理技术的合作与自主研发工作^[3].目前,北京、上海、广州、杭州、宁波等城市,已经拥有了一定规模的浮动车采集终端.

国内外现有的关于浮动车采集系统的技术研究较多,大致都集中在成本、浮动车规模、系统结构和精度等方面^[7],但由于浮动车数据特有的流动性以及浮动车规模的限制,实时浮动车数据不能完全覆盖路网,适当的推估拟合方法可以弥补数据缺失引起的路网状态表达的不完整性,提高应用效率.因此,探讨浮动车数据覆盖率以及数据缺失时的信息推估匹配方法具有实际意义,这也是本文所要解决的主要问题.

1 浮动车数据采集与地图匹配

1.1 浮动车数据

浮动车数据 FCD 是指装有特定车载设备的车辆,在行驶过程中按照一定的时间间隔采集沿途的各种车辆自身的交通数据(如:速度、出行距离、出行时间等),将采集到的实时交通信息通过各种通讯手段传送到信息中心,经信息中心处理后,建立起庞大的共享数据库,并向不同的用户提供多样的实时交通信息.FCD 是由装有 GPS 接收设备的车辆获得,则可以获得一系列离散的定位数据.采用 GPS 定位,获得的离散定位数据格式与常用的 GPS 接收机数据格式相似.FCD 数据格式相对比较灵活,一般情况下,位置数据是必需的.本文采用的是上海市现有装有 GPS 的 3 000 辆出租车的实时定位数据,出租车以 2 s 的采样间隔记录日期、时间、车辆位置经纬度、瞬时速度等信息^[7].信息中心设置接收信息的时间间隔是 30 s,即正常情况下每 30 s 获得车辆的位置信息.经过系统处理,以 5 min 的时间间隔发布信息,即路段每 5 min 的车辆平均通行速度.按照不同道路等级的划分,分别用绿色、黄色和红色表示畅通、拥挤和拥堵,结合地图表现,得到完整的城市实时路况图.

1.2 浮动车数据路网覆盖

浮动车信息采集系统需要结合地图进行专题图

可视化表达,因此需要加工符合系统要求的路网矢量图.由实验得到^[3],浮动车数据的位置展点在短时间内都能较好地覆盖整个中心路网,浮动车数据可以较好地模拟出道路网的真实情况.根据已有车辆获取数据在一定时间内积累的展点分布情况,浮动车的覆盖率足以有效地描述真实路网分布状况.

1.3 地图匹配

浮动车交通信息采集与处理过程中的关键技术之一是浮动车数据的地图匹配问题,即将定位装置获得的车辆定位轨迹与电子地图数据库中的道路信息进行比较,通过特定的算法确定出车辆最可能的行使路段及车辆在此路段上最可能的位置,以此计算出路段的通行速度.

地图匹配的概念和技术思路主要来源于车辆导航系统^[8].但由于浮动车地图匹配的目的、对象规模、速度和匹配率要求都与车辆导航地图匹配大不相同,所以这些技术不能简单地移植到浮动车交通信息处理过程中.首先,浮动车地图匹配的目的在于将浮动车位置转变为路段通行时间信息,在匹配率方面不如车辆导航地图匹配要求高.其次,浮动车地图匹配的对象规模比较大,要在较短时间内完成几千辆乃至上万辆浮动车的地图匹配工作,匹配速度方面的要求比较高.

在一般情况下,基于浮动车数据的实时路况系统是将接收到的浮动车信息匹配到相应路段上,由路段上每辆浮动车的平均速度推估出整条路段的平均速度.但是,(1)由于浮动车的流动性较大,在非车流高峰时段对地面道路的覆盖率可能达不到 100%,即某些路段可能没有可供推算速度的 FCD 信息;(2)无线通信可能出现丢失数据包的现象;(3)部分路段存在限制出租车进入的时段.以上这些特殊情况都会使浮动车数据的使用受到一定的限制,不能直接采用推算路段速度的一般算法,从而会出现路段速度信息空白.为了解决这些问题,必须找出适当的模型,精确地拟合出空白路段的速度,发布完整的实时路况信息.

2 道路速度空间关系多元拟合推估模型

2.1 道路速度推估误差

图 1 是基于 FCD 的 2008 年 6 月某一天上海路网主干道速度数据的覆盖率时变图.由图 1 可以看

出,主干道日间的速度覆盖率平均在 60%左右,为了得到完整路网速度信息,需要拟合其他未覆盖路段的通行速度。

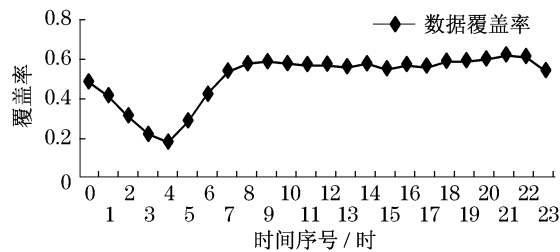


图1 2008年6月上海路网主干道速度数据覆盖率时变图
Fig.1 Time change map of percentage of coverage on arterial road in Shanghai in June, 2008

事实上,浮动车实时路况系统每隔 5 min 发布一次速度数据,数据文件按照“年月日_时间序号.txt”的格式命名,一天完事的数据共有 288 个时段文件.如 2008 年 4 月 1 日 0:00~0:05 的数据文件命名为“20080401_001.txt”.文件中的每条记录都包括路段编码,正向速度,反向速度.当路段上没有浮动车信号而无法计算路段速度时,该方向的速度赋为 -1.本文中的推估模型使用的实验数据是基于 FCD 的上海实时路况系统发布的 2008 年 4 月 1 日至 2008 年 5 月 31 日的速度数据,模型验证数据为 2008 年 6 月的速度数据.首先定义道路推估的误差指标如下:

(1) 速度误差 ΔV

设模型推估速度为 V_m ,对应当前实际路测速度为 V ,则 $\Delta V = V_m - V$.

(2) 状态误差 ΔS

由于实时路况系统结合地图表现形式向用户发布的是关于路况的信息描述,即当前时刻的路段是处于拥堵、拥挤或者畅通的状态.因此,在对模型进行精度分析时,为了更直观地向用户发布结果,故引入状态误差变量.设模型模拟速度对应的状态为 S_m ,对应当前实际状态为 S ,分别用不同的数字代表不同的状态,如:0 - 拥堵、1 - 拥挤、2 - 畅通.则 $\Delta S = S_m - S$.状态 S 一般根据道路的等级和不同城市交通现状来综合确定,如城市地面道路和高架道路对于通畅状态的道路速度设置值是不同的,主要取决于道路流量的变化和通畅程度.因此,道路的状态设置的标准需要根据交通流量的分析结果综合给定.比如在上海,高架路上拥堵、拥挤和畅通的状态设置为:20,40 和 60,而对于地面道路拥堵、拥挤和

畅通的状态设置为:10,30 和 50.

(3) 误差概率 P

基于浮动车数据的实时路况系统,其实质是对整个路网的总体车辆进行随机抽样,用样本来反映总体情况,整个速度推估过程存在一定的误差.在进行模型精度分析时,允许存在一定的误差.一般地,数据误差 ΔV 在 $|\Delta V| \leq 10 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 以及状态误差 $|\Delta S| = 0$ 的数据在实际应用中被认为是可接受的.因此引入误差概率 P ,即速度误差 ΔV 在 $|\Delta V| \leq 10, 10 < |\Delta V| \leq 20$ 和 $|\Delta V| > 20$ (单位: $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) 的概率 P_v ,以及状态误差 ΔS 在 $|\Delta S| = 0, |\Delta S| = 1$ 和 $|\Delta S| = 2$ 的概率 P_s .

2.2 空间关系多元线性回归拟合推估

在多要素的地理系统中,多个要素之间存在相互影响、相互关联的情况.根据空间地理位置特性,一条路段的通行速度与其连通路段的速度密切相关.

图 2 为路段多元线性模型相关信息示意图,假设一个路段某一方向的通行速度 y 受 k 条相连路段通行速度 x_1, x_2, \dots, x_k 的影响,其第 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 组观测值为 $y_i, x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ki}$,则多元线性回归模型结构形式为

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i \quad (1)$$

式中: $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ 为待定参数,即每条连通路段的对应权重; ε_i 为随机变量.

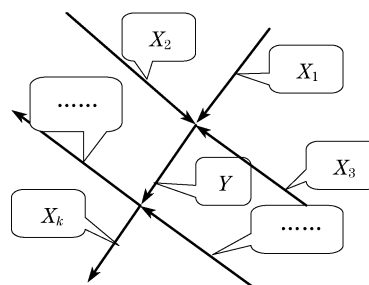


图2 路段多元线性模型相关信息示意图

Fig.2 Sketch map of multi-linear regression model about relative information of road segments

可见回归模型中参数的数据取决于与待推估路段具有空间关联关系的路段数量.对于确定的路网,这一数值也是确定的.

如果 b_0, b_1, \dots, b_k 分别为 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ 的拟合值,则回归方程为

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \dots + b_k x_{ki} \quad (2)$$

式中: b_0 为常数. b_1, b_2, \dots, b_k 为偏回归系数,其意义是,当其他自变量 x_j ($j \neq i$) 都固定时,自变量 x_i

每变化一个单位而使因变量 y_i 平均改变的数值.

根据最小二乘法原理, β_i 的估计值 b_i 应使

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \rightarrow \min \tag{3}$$

根据取极值的必要条件, 得法方程组:

$$\left\{ \begin{aligned} &nb_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_{1i}\right)b_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_{2i}\right)b_2 + \cdots + \\ &\left(\sum_{i=1}^n x_{ki}\right)b_k = \sum_{i=1}^n y_i \\ &\left(\sum_{i=1}^n x_{1i}\right)b_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_{1i}^2\right)b_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i}\right)b_2 + \\ &\cdots + \left(\sum_{i=1}^n x_{1i}x_{ki}\right)b_k = \sum_{i=1}^n x_{1i}y_i \\ &\cdots \cdots \cdots \\ &\left(\sum_{i=1}^n x_{ki}\right)b_0 + \left(\sum_{i=1}^n x_{1i}x_{ki}\right)b_1 + \left(\sum_{i=1}^n x_{2i}x_{ki}\right)b_2 + \\ &\cdots + \left(\sum_{i=1}^n x_{ki}^2\right)b_k = \sum_{i=1}^n x_{ki}y_i \end{aligned} \right. \tag{4}$$

进一步写成矩阵形式:

$$A b = B \tag{5}$$

其中

$$\begin{aligned} A &= X^T X, \quad B = X^T Y, \\ X &= \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{k2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \cdots & x_{kn} \end{bmatrix}, \\ Y &= \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdots \\ y_n \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \cdots \\ b_n \end{bmatrix} \end{aligned}$$

解方程组可得:

$$b = A^{-1} B = (X^T X)^{-1} X^T Y \tag{6}$$

回归模型建立以后, 需对模型的可信度进行检验, 以鉴定模型的质量. 线性回归方程的显著性检验通过 F 检验来完成.

图 3 是带有路段方向的上海中心城区和四平路局部放大图, 图中箭头从路段起点指向路段终点. 由表 1 可知路段 670 的通行速度与路段 125、路段 232、路段 3352、路段 4109 及路段 4110 的通行速度相关.



图 3 带有路段方向的上海中心城区和四平路局部放大图

Fig.3 Road network in Shanghai center area with direction and enlarged drawing around Siping road

表 1 路段 670 关联路段属性表

Tab.1 Associated attribute information of road segment link to segment 670

相关路段编码	方向	相关路段名	起始路段名	终止路段名
670	正	四平路	赤峰路	大连路
125	正	大连西路	大连路	天宝路
232	正	四平路	大连路	天宝西路
335 2	正	赤峰路	密云路	四平路
410 9	反	大连路	阜新路	大连西路
411 0	正	四平路	彰武路	赤峰路

注: 路段实际走向与属性定义方向(正向: 起点指向终点)一致时为“正”, 相反为“反”.

路段车速的多元线性回归模拟可以按照天、小时、甚至每个 5 min 时段等不同时间范围建立不同的模型, 其中按天模拟根据分类范围不同, 又可分为天和周天(即周一至周日). 每种模拟系数推算需要的数据要求不同, 时间范围越小, 模拟精度越高. 由于现有的历史数据存在缺失, 对模型的选择存在一定影响. 本实例取四平路及其相关路段 2008 年 4、5 月份周一全天每小时的历史均值, 利用最小二乘法计算出模型系数, 建立周一四平路(赤峰路大连路)路段正向速度的多元线性回归模型如下:

$$\begin{aligned} V_{670(+)} &= -13.819 - 0.006 \times V_{125(+)} + 0.297 \times \\ &V_{232(+)} - 0.169 \times V_{335\ 2(+)} + 0.61 \times \end{aligned}$$

$$V_{410\ 9(-)} + 0.831 \times V_{411\ 0(+)} \tag{7}$$

其中,变量的下标为路段编码,“+”为正向,“−”为反方向.图4为实际速度与多元线性模型拟合速度的比较图.由图可见,拟合效果较好,同时拟

合结果通过F统计量的检验,在显著水平 $\alpha = 0.001$ 下,拟合效果显著.

3 模型精度检验与应用

3.1 模型精度检验

为了检验模型的实用性,如表2所示,取2008年6月2日(周一)全天288个时段数据中的22组数据作为检验数据,将模型数据与实际数据做比较.表2中,模拟状态是根据模拟速度值依据已经制定模式匹配出来的,其中模式的定义是考虑了速度与不同道路等级条件而综合确定的,并参考了专业交通规划对现有道路进行流量分析后的结果.

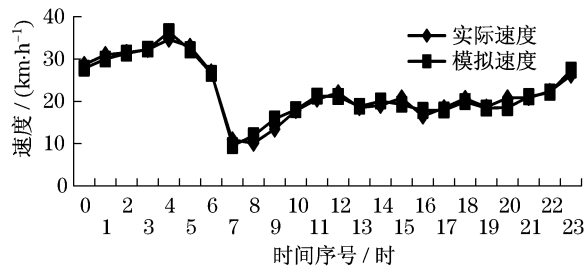


图4 实际速度与模型速度的比较
Fig.4 Velocity comparison between real value and model value

表2 模型检验结果
Tab.2 Results of model inspection

时间序号	模拟速度 $V_m/$ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	模拟状态 S_m	实际速度 $V/$ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	实际状态 S	速度误差 $\Delta V = V_m - V/$ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	状态误差 $\Delta S = S_m - S$
2	43.462 0	2	29.7	2	13.762 0	0
5	30.208 0	2	38.9	2	- 8.692 0	0
9	24.162 0	1	38.6	2	- 14.440 0	- 1
21	26.375 0	2	26.5	2	- 0.125 0	0
28	34.558 0	2	30.1	2	4.458 1	0
111	7.666 7	0	13.2	1	- 5.533 0	- 1
161	14.558 0	1	28.7	2	- 14.140 0	- 1
175	20.611 0	1	18.7	1	1.911 0	0
179	21.519 0	1	18.0	1	3.519 1	0
181	13.690 0	1	16.7	1	- 3.010 0	0
188	14.208 0	1	18.6	1	- 4.392 0	0
203	6.108 3	0	10.4	0	- 4.292 0	0
205	7.592 7	0	15.9	1	- 8.307 0	- 1
211	22.366 0	1	19.6	1	2.765 9	0
214	24.839 0	1	14.3	1	10.539 0	0
222	21.399 0	1	15.1	1	6.299 1	0
239	6.925 5	0	23.9	1	- 16.970 0	- 1
240	7.951 8	0	28.3	2	- 20.350 0	- 2
242	23.317 0	1	29.0	2	- 5.683 0	- 1
247	18.959 0	1	15.9	1	3.059 3	0
255	22.950 0	1	20.1	1	2.849 8	0
284	36.812 0	2	29.5	2	7.312 4	0

注:等级分别为0-拥堵,1-拥挤,2-畅通.由于所选道路等级为主干道,所以车速在0~12 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 为拥堵,12~25 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 为拥挤,
 $\geq 25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 为通畅.

对多元线性回归拟合法的速度误差概率和状态误差概率进行统计分析,得到该方法的速度误差在10 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 以内的概率为72.73%,在10 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 和20 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 之间的概率为22.73%,大于在20 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ 以内的概率为4.54%.同样状态误差为0的概率为68.18%,状态误差为1的概率为27.27%,状态误差为2的概率为4.55%.

然而仅凭一种方法拟合速度很难既达到高精度要求又满足数据覆盖率.在实际应用中,需要结合不同的方法来推估数据,如当满足适用要求时,首先考虑精度相对最高的多元线性回归拟合推估法,其次是考虑最简单方便的前一时刻速度推估法,最后考虑数据覆盖最全面的相应历史均值推估法.

3.2 道路通行速度发布

表3是本文使用的上海市各等级道路不同状态所对应的速度区间.为了直观地反映路况信息,将路段速度数据按照指标分成拥堵、拥挤、畅通三个状态,结合地图,分别用三种颜色对应表示.图5是2008年6月2日8:00~8:05时段上海中心城区道路双向拥堵专题图.由图可知,经过一系列计算匹配后,解决了信息空白的问题,得到了完整的交通信息图.

表3 各等级道路不同状态对应的速度区间
Tab.5 Velocity classification of routing status for diverse road degrees $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$

道路等级	拥堵	拥挤	畅通
高架、快速路	$v < 25$	$25 \leq v < 45$	$v \geq 45$
主干道、干线主干道	$v < 12$	$12 \leq v < 25$	$v \geq 25$
次干道、支路及其它	$v < 10$	$10 \leq v < 20$	$v \geq 20$



图5 2008年6月2日8:00~8:05时段上海中心城区道路双向路况专题图

Fig.5 Thematic map of road network status in both direction between 8:00~8:05 on June 2,2008 in Shanghai center area

4 结论

作为一个新的数据源,FCD在实时交通信息的获取和交通模式的识别中越来越重要.然而当路网中浮动车数据出现空白时,道路速度需要推估以获得整个路网的通行状况.由于地面道路拥有大量的

历史数据库,故在寻找合适推模型时可从分析大量历史数据着手,可以利用前一时刻实时速度推估以及相应时刻历史均值进行推估.本文结合路段的空间关系,研究了地面路段的多元线性回归模型,推出了按周天分类的模型系数,根据路测检验结果,该方法速度误差 $|\Delta V| \leq 10$ 的概率 P_v 为72.73%,状态误差 $|\Delta S| = 0$ 的概率 P_s 为68.18%.结合空间关系的多元线性回归模型无论在速度误差概率还是状态误差概率,精度都相对较高,但是模型适用的数据完整性要求较高.若想要既保证推估后的数据覆盖率,又保证拟合精度,则必须同时使用多种模型结合.由于各个方法有明显的优势和特定的使用范围,结合使用可以有效解决地面路段信息空白的难题.

参考文献:

- [1] Fukui M, Sugiyama Y. Traffic and granular flow[M]. Tokyo: Springer,2002.
- [2] Kerner B S. In physics of traffic[M]. New York:Springer,2004.
- [3] Liu C,Meng X L, Fan Y M. Determination of routing velocity with GPS floating car data and WebGIS based instaneous traffic information dissemination[J]. Journal of Navigation, 2008, 61 (2):337.
- [4] Turksma S. The various uses of floating car data. Road transport information and control[C]//Tenth International Conference on (Conf Publ No 472). London: IEEE,2000:51-55.
- [5] Lorkowski S,Mieth P, Schäfer R P. New ITS applications for metropolitan areas based on floating car data[R]. Den Haag: ECTRI,2005.
- [6] Kerner B S, Demir C, Herrtwich R G, et al. Traffic state detection with floating car data in road networks [C] // Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. Vienna: IEEE, 2005: 13-16.
- [7] 张周强. 浮动车交通数据采集技术研究[D]. 上海: 同济大学交通工程系,2008.
ZHANG Zhouqiang. Technology research of traffic data capture from floating car data [D]. Shanghai: Tongji University. Department of Traffic Engineering,2008.
- [8] 苏洁,周东方,岳春生. GPS 车辆导航中的实时地图匹配算法[J]. 测绘学报,2001,30(3):252.
SU Jie, ZHOU Dongfang, YUE Chunsheng. Real-time map-matching algorithm in GPS navigation system for vehicles [J]. Acta Geodaetica et Carto Graphica Sinica,2001,30(3):252.