

基于浮动车数据的高速公路拥堵检测方法

张志平¹ 汪向杰² 林航飞¹

(1. 同济大学交通运输工程学院 上海 200092; 2. 上海优途信息科技有限公司 上海 200433)

摘 要 针对基于固定检测设备的高速公路拥堵检测方法在检测时间和检测范围方面的不足,提出了基于浮动车 GPS 数据的检测方法。提出了完整的拥堵检测流程,包括高速公路的区间划分、GPS 匹配、区间状态判定和拥堵状态仿真等环节。通过检测案例分析说明了方法效果。在拥堵检测的快速性、准确性和全面性方面较之传统方法有明显优势,同时分析了此方法的具体应用条件。

关键词 浮动车;GPS;高速公路;拥堵检测

中图分类号:U491 **文献标志码**:A **doi**:10.3963/j.issn.1674-4861.2012.06.020

0 引 言

交通拥堵检测的方法根据检测途径,可以分为基于固定检测设备的检测方法和基于移动设备的检测算法。前者可以实现稳定的、连续的检测,但是设备布设成本高,检测范围受限制^[1-2]。传统的高速公路拥堵检测一般是通过沿线布设的各种自动检测设备、报警急救电话和车辆巡逻等方法检测交通信息,然后通过现场或者视频进行人工确认,最后通过网络、广播和 VMS 等渠道进行发布。这样虽然在准确率和误报率方面都有不错的效果,但检测范围有限,检测时间不能满足动态交通信息的标准。当样本车数量和比例足够时,浮动车在空间、时间上有较好的覆盖率,但是覆盖路段和强度不能任意控制,受到车流分布的影响,数据质量有一定波动。

近几年中,R Bishop 对全球范围内的 FCD 技术运用做了 1 个有筛选的总结和回顾^[3],L. C. Ruey, C. Basnayake 等人对基于 GPS 的浮动车技术在道路交通事件的自动化检测方面进行了研究^[4]。张存保等^[5]曾经通过 Vissim 仿真的方法论证过浮动车检测高速公路拥堵的可行性和先进性,在不同交通流量条件下,仿真取得了较高的检测率,较低的误判率和快速的检测时间。基于浮动车的高速公路拥堵检测方法可以快速地,在浮动车数据覆盖的路网范围内较为精确地检测出拥堵,并且能够获取拥堵开始时

间、结束时间、拥堵点位置和近似排队长度等比较全面的拥堵参数。

本文研究成果是基于全国重点营运车辆联网联控信息服务平台项目中的河北省浮动车数据得到的,并以河北省高速公路管理局网站发布的高速公路拥堵事件信息为评价的标准。

1 算法理论

1.1 时空划分

本文算法是基于数据挖掘理论以及 GIS 动态分段思想提出的基于 FCD 数据的高速公路拥堵检测方法。算法首先对高速公路路段进行了动态分段,按需将其动态划分为一定长度的检测区间,然后计算每个检测区间内的交通参数,得到高速公路(网)的交通状态。

动态分段是在传统 GIS 数据模型的基础上利用线性参考系统和相应算法,对线性要素的定位不再使用 X,Y 坐标,而是动态计算出属性数据的空间位置的方法^[6]。

交通状态通过可以检测的交通相关参数来表达。高速公路交通状态并非均匀一致的,不同区间的交通状态存在差异;同一区间的交通状态也不是稳定的,而是随着时间在不断变化。高速公路交通流在拥堵和畅通状态下,其中的浮动车 GPS 数据具有明显的特征差异。

综合检测精度要求和经济性要求,一般将高速公路划分成一定长度的小区间。经过时空划分

收稿日期:2012-06-18 修回日期:2012-10-09

第一作者简介:张志平(1969),博士生,研究方向:交通运输规划与管理。E-mail:zhangzp@ctfo.com

后,每个周期,每个区间内或者包含了一定数量的浮动车 GPS 数据,或者无样本数据。这些数据就是判断此区间本周期内交通状态的依据。

1.2 交通流的相和检测阈值条件

Bassan^[6]研究了交通流从非拥挤到拥挤的转变过程以及从拥挤到非拥挤的恢复过程。郝媛等^[7]通过对实测数据的分析,将交通状态进行过详细的划分,但主要分为拥挤和非拥挤 2 类。通过大量的实测数据分析认为,2 种状态的划分速度阈值以 20 km/h 比较合适。

高速公路主线的交通流属于连续流,本文中利用高速公路的浮动车 GPS 数据,分析车辆运行情况,将高速公路交通流划分为拥挤和非拥挤。

根据《道路交通安全法实施条例》第七十八条“高速公路应当标明车道的行驶速度,最低车速不得低于每小时 60 km。”为了排除小的扰动导致的暂时速度下降,特别增加了持续时间的要求。通过大量的数据观测与分析,本文认为区间车速小于 60 km/h,持续时间超过 15 min 的交通流状态为拥挤状态。需要特别说明的是,通过对区间车速以及持续时间的分布统计分析发现,区间车速小于 20 km/h,持续时间大于 10 min 的交通状态多呈现出拥堵状态,考虑到不将高速公路交通流状态进一步划分,所以将以上两者均作为高速公路拥堵检测的阈值条件。

1.3 浮动车 GPS 数据时间间隔

张存保等人^[8]将实测的速度曲线由时域转换到频域,根据 Shannon 采样定理,得到高速公路和城市道路的最佳采样周期,分别为 20 s 和 10 s。本文中所采用的浮动车 GPS 数据时间间隔不大于 30 s 的数据大约占 80%,接近最佳采样周期,可以作为路况检测的数据源。

2 检测算法流程

一般浮动车技术是通过计算得到路段上的平均行程车速来判定路段的交通状态,这涉及到 GPS 点在路段上覆盖率的问题,而本文中采用 GPS 的瞬时速度,并对每个小区间进行状态判断,简化了计算,因此该浮动车技术能对高速公路拥堵切实进行快速的检测。

2.1 算法流程图

检测流程如图 1,完整的高速公路拥堵检测算法主要包含区间划分、GPS 匹配、区间状态计算和填补等步骤。

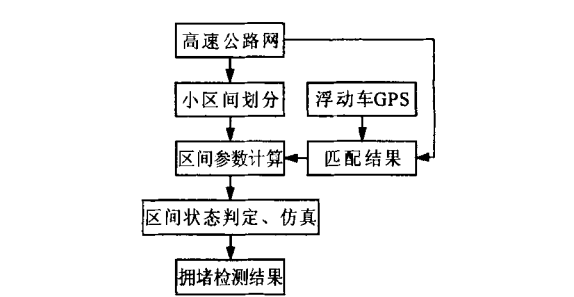


图 1 基于 FCD 的高速公路拥堵检测方法流程
Fig. 1 The process of expressway traffic congestion detection based on probe car data

2.2 高速公路网小区间划分

首先将高速公路路段划分成长度范围在 200 ~500 m 之间的小区间,区间长度的具体取值依据空间检测精度的要求和 FCD 覆盖强度确定。空间检测精度要求越高,FCD 覆盖强度越大,则区间长度越短;反之越长。一般只对高速公路主线作小区间划分,出入口匝道、立交连接/转向匝道因为长度较短、曲率半径较小,不在检测范围之内。

2.3 路段匹配和区间参数计算

浮动车 GPS 数据和高速公路网的匹配除了一般的道路匹配结果之外,在此还应增加 1 个属性值,即匹配点到路段起点的长度。这个数据是后续确定各个 GPS 点(或对应的匹配点)所在区间的依据。

2.4 区间状态判断和状态仿真

针对拥堵检测的区间参数主要有平均速度、低速比例等,本文低速比例 R 指 GPS 点瞬时速度不大于 5 km/h 的 GPS 点数量占有所有 GPS 数量的百分比)。根据区间的参数,主要是最大速度、平均速度和低速比例。根据条件:区间内最大速度小于 60 km/h,且平均速度小于 60 km/h,低速比例 R 不小于 50 %,则判定为拥堵,如下式所示。

$$S = \begin{cases} 1, & \max v \leq 60, \text{avg } v \leq 60, R \geq 50 \% \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

随着拥堵的发生,浮动车数据在交通流中分布的均匀性急剧下降,造成上述判断结果中拥堵区间相离,而中间区间无数据的情况,仅根据其内部参数无法将其判定为拥堵状态,这就需要进行状态仿真。根据实践经验,当前后拥堵区间相距不超过 3 km 时,可以推断中间区间的状态为拥堵。最终得到的结果就有本周期内拥堵起止位置和近似排队长度。在高速公路上发生的拥堵往往会跨周期,这就需要对拥堵信息进行保存,直至其

完全消散,在拥堵区间数据存储过程中,当满足持续时间要求时,即平均车速小于 60 km/h 持续超过 15 min,或区间车速小于 20 km/h,持续时间大于 10 min 时则发布交通拥堵信息。

2.5 算法适应性

将基于 FCD 的拥堵检测方法首先应用于高速公路,是因为高速公路是绝对的交通性道路,几乎不受外界环境干扰,浮动车数据能比较真实地反映交通状况。试验结果也证明在此方法在高速公路拥堵检测中效果显著。

本文提出的算法主要是在 FCD 的覆盖率和分布均匀性方面有要求,在畅通条件下,每个周期,每个区间内的有效匹配 GPS 点数量不少于

5。如果达不到这个要求,只能适当延长信息更新周期,或者增加划分的区间长度,通过降低检测精度来满足检测准确率和误报率方面的要求。

3 实证分析

实际中,根据本文算法,以 15 min 为更新周期,500 m 为区间划分单位,检测到在 2011 年 7 月 26 日路段 113004742(GIS 地图中路段 ID)处发现拥堵,对照 GIS 地图,拥堵位置为黄石高速石家庄方向,深州西站附近。拥堵开始于 10:00,结束于 11:15,最大排队长度 1 500 m。表 1 是从此次拥堵中提取的部分 GPS 数据及其处理后的结果示例。

表 1 部分 GPS 数据及其处理结果
Tab. 1 Some GPS data and operation results

序号	车辆 ID	日期	时间/s	纬度(N)/(°)	经度(E)/(°)	速度/(km·h ⁻¹)	距离/m
1	1_冀 J89900	2011:07:26	37 298	37.994 410	115.558 722	92	4 305.8
2	1_冀 J89900	2011:07:26	37 328	37.994 749	115.549 852	94	5 083.8
3	1_冀 J89900	2011:07:26	37 388	37.995 904	115.532 935	76	6 571.5
4	1_冀 J89900	2011:07:26	37 418	37.996 070	115.530 701	14	6 768.1
5	1_冀 J89900	2011:07:26	37 478	37.996 160	115.530 137	0	6 818.2
6	1_冀 J89900	2011:07:26	37 598	37.996 174	115.530 122	0	6 819.7

为了便于观察,提取路段 113004742 上下游连续 Link 在这 1 d 中的检测结果,其拥堵时空影响范围见图 2,图中横轴表示时间周期序号,15 min 为 1 个周期;纵轴表示沿主线划分的区间序号,每 500 m 为 1 个区间单位;白色区域表示此次拥堵的时空范围,其他部分为畅通。

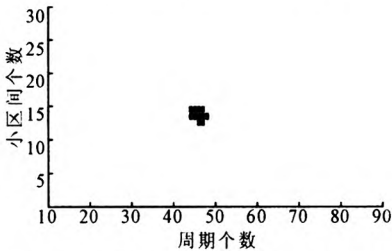


图 2 案例 113004742—20110726 的拥堵范围 (黑色区域)

Fig. 2 The congestion range of case 113004742 — 20110726

上述时空图中,横轴表示时间,单位是 h。纵轴表示距离路段起点长度,单位为 m。从全天总图中可以看出,在距离路段起点 6 000~7 000 m 处,大约在 10:00~11:00 时发生了拥堵,如图 3 中黑色虚线表示。将此局部放大至图 4,可以清楚地看到经历拥堵的各辆浮动车的时空运行轨

迹。图中实线表示拥堵产生面随着时间的运动情况,而虚线表示此次拥堵的消散面。围合部分就表示拥堵的时空范围。

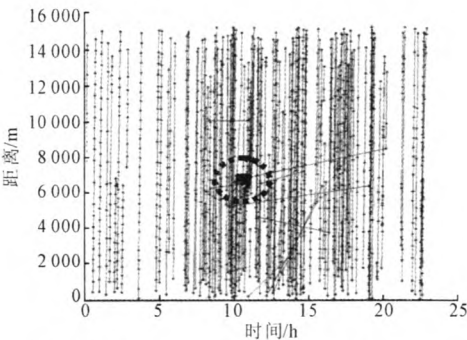


图 3 路段 113004742 上下游路段 20110726 交通运行时空图

Fig. 3 The space-time figure of link 113004742 on 20110726

对应上述检测到的拥堵信息,从河北省高速公路管理局官网发布的信息中,找到对应的拥堵描述,参见图 4: 2011 年 7 月 26 日,10:17 时起,黄石高速公路石家庄方向深州西站附近,K 212+500 处发生拥堵,至 11:00 时拥堵消散,车辆拥堵约 2 km。通过检测结果和此次发布的拥堵信息的对比见表 2。

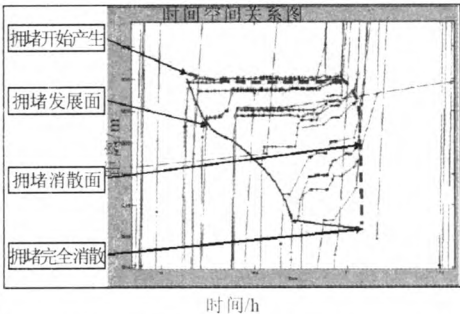


图 4 路段 113004742 上下游路段 20110726 拥堵局部放大图
Fig. 4 The partial enlargement of link 113004742 on 20110726

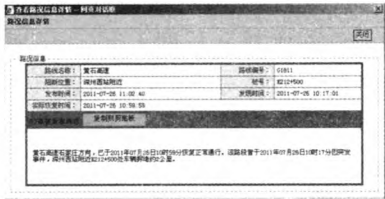


图 5 官网发布信息截图
Fig. 5 The figure from hebei expressway management center

表 3 2011 年七月河北省官网路况部分发布信息

Tab. 3 The part of published traffic information in July 2011 of hebei province

序号	拥堵 ID	目标路段 ID	路段长度/m	发布的拥堵类型	发布的持续拥堵时间	拥堵是否检出
1	拥堵 0701-1	103038651	4 031.9	拥堵	01:03:44	是
2	拥堵 0721-2	108010054	549.70	拥堵	00:37:05	是
3	拥堵 0723-3	105008952	952.2	车辆故障	00:39:33	是
4	拥堵 0724-3	103028942	549.9	严重拥堵	12:00:18	是
5	拥堵 0724-6	104028707	1 562.5	严重拥堵	07:00:10	是
6	拥堵 0726-3	113004742	842.3	突发事件	00:42:57	是
7	拥堵 0727-1	104036907	6 719.2	拥堵	00:42:16	是
8	拥堵 0727-2	104037514	980.6	严重拥堵	03:47:27	是
9	拥堵 0727-8	104028707	1 562.5	严重拥堵	10:40:50	是
10	拥堵 0728-1	105018046	1 152.5	严重拥堵	03:20:43	是

4 结束语

基于浮动车数据的高速公路拥堵检测方法在实际应用测试中,表现出了快速、准确的检测性能,在降低高速公路拥堵检测成本和避免拥堵加剧升级方面有着广阔的应用前景。

该拥堵检测方法计算简单,适应性强;但其所得排队长度对浮动车在排队中的分布存在较强的依赖关系,并且在更新信息时往往存在一定跳跃。本文提出的方法实际上是针对高速公路通行能力的检测,所以本文提出的方法只能检测到导致通行能力明显下降的事件,而对一些小型事件天然过滤。

参考文献

[1] Chen S Y, Wang W, Henk V Z. Construct support vector machine ensemble to detect traffic incident

最大影响长度不超过 2 km,时间不超过 2 h,这在高速公路上属于较小规模的拥堵,而从上表中,可以看出基于浮动车的高速公路拥堵检测方法对此也具有较高的准确性。

表 2 拥堵检测和官网发布信息对比表
Tab. 2 The comparison of detection result and published information

序号	对比项	拥堵检测结果	网站发布信息	对比结果
1	日期	20110726	20110726	日期相同
2	位置	LinkID: 113004742	黄石高速, K 212+500	位置相近
3	开始时间	10:00	10:17	相近
4	结束时间	11:15	11:00	相近
5	最大长度/km	1.5		
6	影响长度/km	1.5	约 2 km	相近

实际中,作者对 2011 年 7 月河北省高速公路管理局网站发布的 10 个拥堵路况信息与对应的检测算法计算得到的结果进行了对比,结果表明算法有效检测出了所有的 10 个拥堵路况状态。

[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36 (8):10976-10986.

[2] 沈 舒,吴 聪. 基于优化 SVM 的高速公路交通事故检测[J]. 电子测量技术,2012,35(5):40-44.

[3] Bishop R. Floating car data project worldwide: A selective review[C]// ITS America Annual Meeting, Washington DC: ITS America2004:192-197.

[4] Ruey L C, Basnayake C. Automated traffic incident detection with GPS equipped probe vehicles[C]// IONGNss, Long Beach CA: The Institute of Navigation, 2004:741-750.

[5] 张存保,杨晓光,严新平. 基于浮动车的高速公路交通事故自动判断方法研究[J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版,2006,30(6):973-975.

[6] Bassan Shy, Faghri Ardeshir. Experimental investigation of spatial breakdown evolution on congested freeways[C]// The 84th TRB Annual Meeting. Washington DC: Transportation Research Board,

- 2005;1415-1424.
- [7] 郝媛,孙立军,徐天东,等.城市快速路交通拥挤分析仪拥挤阈值的确定[J].同济大学学报:自然科学版,2008,36(5):609-614.
- [8] 张存保,杨晓光,严新平.浮动车采样周期优化方法研究[J].交通运输系统工程与信息,2007,7(3):100-104.
- [9] 姜桂艳.道路交通状态判别技术与应用[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [10] 符铎,郭云开.交通地理信息系统[M].北京:人民交通出版社,2007:174-180.

A Detection Method of Expressway Traffic Congestion with Probe Car Data

ZHANG Zhiping¹ WANG Xiangjie² LIN Hangfei¹

(1. School of Transportation Engineering, Shanghai 200092, China, Tongji University;

2. Shanghai Yootu Information Technology Co., LTD, Shanghai 200433, China)

Abstract: The traditional expressway traffic congestion detection method has a long detection time and limited detection range. To deal with this problem, a new method of expressway congestion detection based on probe car GPS data was proposed. The expressway interval division, GPS matching, interval state judgement and congestion status simulation were included in this method. The effectiveness of the method is verified by a detection case. Compared with the traditional methods, the advantages of this method are obvious in detection time and accuracy. Moreover, the application condition of this method was presented.

Key words: probe car; GPS; expressway; traffic congestion detection

(上接 89 页)

- [5] 戴 霄. 基于公交 IC 信息的公交数据分析方法研究[D]. 南京: 东南大学交通学院, 2006.
- [6] 陈学武, 戴 霄, 陈 茜. 公交 IC 卡信息采集、分析与应用研究[J]. 土木工程学报, 2004, 37(2): 107-110.
- [7] 郭淑霞. 北京城市公交汽车出行特征分析及对策[J]. 综合运输, 2010(4): 58-61.
- [8] 牛学勤. 城市公交车辆调度优化理论与方法[D]. 南京: 东南大学, 2004.
- [9] 北京交通发展研究中心. 北京市第三次综合交通调查报告[R]. 北京: 北京市交通委员会, 2007.

Transit Travel Distance Based on IC Card Data

ZHANG Yu¹ HU Xinghua^{1,2}

(1. *Chongqing Comprehensive Transportation Research Institute, Chongqing 401121, China;*

2. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Knowing the characteristics of transit travel is the basis for transit planning and operational decision-making. This paper analyzes the characteristics of transit travel based on data mining tools, using segmented pricing line bus IC card data in Beijing in order to study the different periods of the resident bus travel distribution features. The travel station distribution results show that the number of transit travel stops for Beijing residents obeys Weibull distribution. At the 95% condition of confidence level, the sum of squared error (SSE) is less than 0.01, while the goodness of fit is more than 0.97.

Key words: transit IC card; travel distance; transit travel characteristics; data mining