

文章编号: 1002-0268 (2006) 02-0133-04

基于手机定位的高速公路事件检测方法研究

孙棣华, 陈伟霞

(重庆大学 自动化学院, 重庆 400044)

摘要: 改善自动事件检测方法的检测率 (DR)、误报率 (FAR) 和平均检测时间 (MTTD), 对于提高事件管理效率至关重要。在分析现有检测方法的基础上, 提出基于手机定位的高速公路事件检测方法并给出 1 种检测算法。算法以在路车辆上每部手机的定位数据为基础, 由此获取平均速度、速度标准差和速度变化系数作为特性参数, 采用模糊综合评判方法判断道路交通运行状态, 实现高速公路事件的自动检测。模拟实验证明了该算法的有效性。

关键词: 事件检测; 手机定位; 高速公路; 模糊综合评判

中图分类号: U491.3

文献标识码: A

Expressway Automatic Incident Detection Method Using Mobile Phone Positioning

SUN Di-hua, CHEN Wei-xia

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: It is critical that Detection Rate (DR), False Alarm Rate (FAR) and Mean Time to Detection (MTTD) are improved in expressway automatic incident detection. Based on the analysis of expressway automatic incident detection methods, an expressway incident detection method using mobile phone positioning is presented. The average speed, standard deviation of speed, variation coefficient of speed of all mobile phones on vehicles on certain expressway area are defined as key parameters, which are used automatically determine expressway incidents with fuzzy comprehensive evaluation. Simulation results show that DR, FAR and MTTD of the proposed method are improved.

Key words: Incident detection; Mobile phone positioning; Expressway; Fuzzy comprehensive evaluation

0 引言

高速公路事件是指非周期性发生在高速公路上的各类事故或事件, 例如车辆抛锚、撞车、坠车、货物散落等。由于高速公路是全封闭的, 车辆运行速度高, 高速公路事件易造成交通通行能力下降和引起后继事故的发生。因此, 各国都在积极开发先进的高速公路事件检测系统。

高速公路事件检测方法包括人工检测和自动事件检测 (AID, Automatic Incident Detection)。人工检测主要有电话报警、昼夜巡逻车巡视、闭路电视监控等方

法。电话报警的检测率和实时性高, 但误报率大。其他方法受气候、时间及人的因素影响, 覆盖面有限。自动事件检测是根据各种检测设备采集到的数据信息, 由算法自动判断是否有事件发生。这种方式是高速公路事件检测系统的发展方向, 其技术关键是事件自动检测算法。

国内外高速公路事件检测方法的研究主要集中在基于车辆检测器的 AID 算法。这类算法的交通流参数由感应线圈、红外线检测器、视频检测器等采集而来, 参数包括车流速度、流量、占有率、车头时距等交通流特性的时间序列。上世纪 60 年代后, AID 算

收稿日期: 2004-11-04

基金项目: 国家十五科技攻关计划资助项目 (2002BA404A07); 重庆市自然科学基金资助项目 (8599)

作者简介: 孙棣华 (1962-), 男, 重庆人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为智能交通系统、计算机控制系统. (d3sun@163.com)

法的研究发展迅速,涌现了大批检测算法,典型的有加利福尼亚算法、McMaster 算法等。目前的算法大致可分为两类,分别基于空间测量和基于点测量^[1]。基于空间测量的检测算法以道路的视频监控和图像检测为基础^[1-3],通过对路况的自动分析来估计事件,受气候影响其误报率较大;基于点测量的检测算法以道路断面交通参数检测为基础^[1,2,4,5],主要有比较法、交通模型和理论算法、统计预测法、滤波算法、人工智能算法,均通过分析事件发生条件下交通流参数的变化规律或各交通流特性间的关系进行事件检测。

基于车辆检测器的 AID 算法很多,其共同特点是:当检测算法一定时,若检测点之间的距离增大,则事件检测率及误报率减小,检测时间增加;反之,事件检测率及误报率加大,且投资成本增加。因此,必须根据路段的交通流特性和车辆检测器的配置来选择合适的检测算法。

1 基于手机定位的高速公路事件检测方法的提出

受投资成本和管理因素限制,当前我国高速公路上车辆检测器数量很少,因此,传统的 AID 算法目前尚缺乏广泛应用的基础。

另一方面,一个交通事件的发生必然影响其邻近路段各车辆行驶的状态。例如,如图 1 所示,车辆①、②和③在路段上正常行驶,若 t 时刻车辆①因发生故障而停车,受该车影响,车辆②和③减速到不同程度。在①停车点的下游,车辆行驶的自由度较高,因此②、③行驶过停车点后会加速达到或超过减速前的原速度,这种运行规律不同于无事件发生下独立车辆的运行模式。因此,可以不依赖传统的车辆检测器,而是依据道路上独立车辆的行驶状态来检测事件,通过定位技术提供独立车辆在道路上运行的时空关系、时速关系以及延迟时间、停车时间等微观信息,研究一类新的事件自动检测算法。

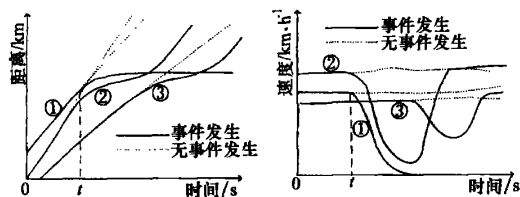


图1 不同交通流状态下独立车辆的运行时空关系和时速关系

Fig 1 Time-space and time-speed relation of individual vehicle under different traffic condition

M. William Sermons 等 (1996)^[8]曾提出以车辆的

定位估计车辆速度、行车时间等参数,通过对比模型阈值实现事件的自动检测。但模型阈值依赖于历史事件和非事件两类状态下的车辆样本数和车辆运行特性,因此,这种以对单一车辆运行状态分类为基础的方法检测性能不高。此外,该研究未考虑定位方法、定位频率和定位误差对车辆运行参数估计的影响。

目前能实现上述思想的定位方法主要有基于 GPS 的自动车辆定位 (GPS-AVL) 技术和移动通信网络的手机定位技术^[8]。影响定位技术应用的关键是定位频率、定位精度和 GPS 或手机的覆盖率^[7]。与 GPS 相比,手机定位误差较大^[6,7],但普及率高,获取高速公路上车载手机的定位数据相对较容易。随着移动通信技术的发展,手机定位的精度在不断提高,因此,将手机定位应用于道路事件检测具有一定的优势。为此,提出基于手机定位实现高速公路事件的自动检测。

在高速公路行驶的车辆上,用户手机的位置变化规律必然反映了所在车辆的运行状态。由于移动通信网络对高速公路的覆盖率非常高,可以利用网络自主定位方式采集到的手机信息包括公路沿线手机的 ID 号和经纬度^[6,7]。因此,基于手机定位的高速公路事件检测包括车载手机识别和事件检测算法两部分。前者可利用电子地图匹配技术获得手机在路段上的位置,依据手机的位置分布和速度变化判断手机是否为车载手机,排除非车载手机对事件检测的干扰。以下重点讨论事件检测算法。

2 基于手机定位的高速公路事件检测算法

通过定位技术能精确估计速度^[7],因此速度是表征手机运行状态的最直接参数。但仅用个别手机的单一速度不能准确地判别事件及其严重性,所以必须融合附近所有车载手机的速度及其它运行参数。本文提出的算法是建立在事件发生地点上游的车辆行驶速度会降低则用户手机速度也降低这一事实基础上。依据各手机的运行规律,提取手机的运行特性,先计算单一手机的各运行特性对每个交通运行模式的隶属度,然后建立反映因素重要性的权重集,对所有车载手机的运行状态进行模糊综合评判以确定事件是否发生。

2.1 数据预处理

获得手机在路段上的位置变化序列后,即可求解手机的速度变化序列。车辆运行具一定的物理惯性,因此对手机速度进行线性平滑可减小定位误差等因素的影响。较常用的平滑方法有 wiener 滤波、kalman 滤波、指数滤波等。为简化运算且保证手机原速度的信

息不被削弱, 本文采用加权的形式

$$V_{i,l} = \alpha v_{i,l} + (1 - \alpha) v_{i,l-1} \quad (1)$$

式中, $v_{i,l}$ 表示 ID 号为 C_i ($i = 0, 1, 2, \dots, m$) 的手机在第 l ($l = 1, 2, \dots, n$) 个采样周期内的运行速度。 α 可以通过最小二乘法确定, 经验公式一般取 $0.5 < \alpha < 1$ 。

2.2 选取特性参数

由图 1 可知, 在高速公路事件发生地点的一定范围内, 受事件影响的车辆速度发生突变, 因此手机的运行特性也会发生相同变化。统计各手机的平均速度 ($\bar{V}_i$)、速度标准差 (Std_i) 和速度变化系数 ($Coe_i = Std_i / \bar{V}_i$) 并作为特性参数。

$\bar{V}_i$ 的大小反映了车辆行进自由度的高低; Std_i 衡量车辆运行的稳定状态; Coe_i 综合评价车辆速度变化与平均速度的对比程度。通常事件越严重, $\bar{V}_i$ 越小, Std_i 和 Coe_i 越大; 相反, 则 $\bar{V}_i$ 越大, Std_i 和 Coe_i 越小。

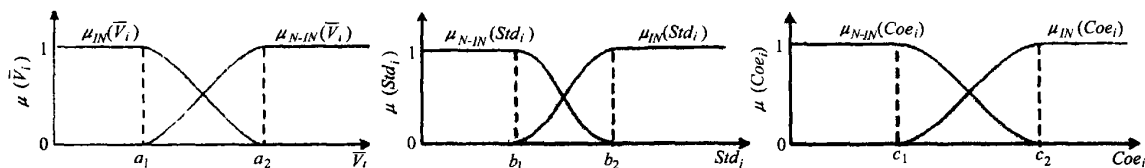


图 2 因素的隶属函数

Fig 2 Membership function of traffic factors

2.4 建立因素权重矩阵

不同因素在交通事件检测中的重要程度不同, 因此定义所有车载手机对模式 IN 的模糊因素权重矩阵 $D = (D_0^T, D_1^T, \dots, D_m^T)^T = (d_{ij})_{(m+1) \times 3}$, d_{ij} 表示 ID 号为 C_i 的手机的第 j 个因素的加权系数。权值的确定方法很多, 如统计法、层次分析法。由于同一种交通流状态下不同手机的运行速度可能不同, 因此本文采用以下方式

$$d_{i1} = p(\bar{V}_i) = \begin{cases} p_1 & \bar{V}_i \leq a_3 \\ (p_1 - p_2) \times \frac{(a_4 - \bar{V}_i)}{(a_4 - a_3)} + p_2 & a_3 < \bar{V}_i \leq a_4 \\ p_2 & a_4 < \bar{V}_i \end{cases} \quad (2)$$

$$d_{i2} = (1 - d_{i1}) \times p_3 \quad (3)$$

$$d_{i3} = (1 - d_{i1}) \times (1 - p_3)$$

式中, $a_3 < a_4$, $0 < p_2 < p_1 < 1$, $0 < p_3 < 1$, 各参数的大小根据设计需求的不同来预设, a_3 , a_4 也可以由经验或专家确定。从式(2)可知, 平均速度越小则事件发生的可能性越大, 它对应的加权系数越大; 否则, 则加权系数越小, 速度标准差与速度变化系数对事件评判的重要性越大。

但是, 事件和无事件状态下的手机运行参数没有明显的界限, 因此可将这些特性参数与交通流状态的关系进行模糊处理。故定义因素集 $U = \{U_0, U_1, \dots, U_m\}$, $U_i = \{U_{i1}, U_{i2}, U_{i3}\} = \{\bar{V}_i, Std_i, Coe_i\}$ 为 ID 号为 C_i 的手机的因子集。

2.3 确定因素隶属函数

将交通运行状态模式定义为: $V = \{IN, N_IN\} = \{\text{事件发生}, \text{无事件发生}\}$, 根据上述分析, 选用 Z 型和 S 型隶属度函数, 建立各因素与各模式间的隶属度函数, 见图 2。

这样, 即可获得因素集分别对模式 IN 和 N_IN 的模糊隶属度矩阵 $R = (R_0^T, R_1^T, \dots, R_m^T)^T = (r_{ij})_{(m+1) \times 3}$, $G = (G_0^T, G_1^T, \dots, G_m^T)^T = (g_{ij})_{(m+1) \times 3}$, r_{ij} 、 g_{ij} 表示 ID 号为 C_i 的手机的第 j 个因素分别对两种模式的模糊隶属度。

同时, 建立手机对模式 N_IN 的模糊因素权重矩阵 $F = (F_0^T, F_1^T, \dots, F_m^T)^T = (f_{ij})_{(m+1) \times 3}$ 。在该模式中, 由于每部手机的 3 个因素的作用相当, 故定义 F 为常量矩阵, 即 $f_{ij} = 1/3$ 。

3.5 事件综合评判方法

获得模糊隶属度矩阵和权重矩阵后, 即计算出综合评判值

$$P_N = \frac{1}{m+1} Tr(DR^T) = \frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^m (D_i, R_i) \quad (4)$$

$$P_{N-IN} = \frac{1}{m+1} Tr(FG^T) = \frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^m (F_i, G_i) \quad (5)$$

式中, P_N 、 P_{N-IN} 分别表示所有手机隶属事件发生模式和无事件发生模式的程度, 根据最大隶属度原则, 选取评判值的较大者为评定的交通运行状态模式以确定事件是否发生。

3 模拟实验结果

实验从检测率 (DR)、误报率 (FAR) 以及平均检测时间 ($MITD$) 3 个指标来评价检测性能。实验数据来源于高速公路交通流仿真模型, 包括发生在不同地点、时间、流量下 367 个不同严重性的事件前后所有车辆

的每秒位置信息。为降低误报率,当连续 3 次出现 $P_{IN} > P_{N-IN}$, 则判定有事件发生并报警。

假定不同车型有不同手机数, 经过电子地图匹配后的手机位置误差范围为 $[-70\text{m}, 70\text{m}]$, 其中 15% 的误差范围为 $[-20\text{m}, 20\text{m}]$, 30% 的误差范围为 $[-40\text{m}, 40\text{m}]$ 。参数设置为同组参数和不同组参数, 前者的 $T_1 = [a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2, a_4] = [30, 70, 8, 16, 0.15, 0.4, 50]$, $T_2 = [p_1, p_2, p_3, a_3, \alpha] = [0.5, 0.25, 0.6, 20, 0.7]$, 后者是依据不同采样周期时各自的检测性能进行调整后的参数。表 1 给出了不同采样周期时同组参数和不同组参数的事件检测性能。图 3 比较了该算法在同组参数下与传统的加利福尼亚算法的检测率和误报率。

表 1 模拟实验结果

Tab 1 Simulation results

采样周期/s	同组参数时的检测性能				参数调整后的检测性能				加利福尼亚算法
	5	10	20	30	5	10	20	30	
DR/%	97.55	94.28	91.01	87.19	94.55	94.82	95.91	89.37	83.92
FAR/%	36.59	2.02	1.49	0	2.88	1.72	0	0	10.4
MTTD/min	0.62	1.20	2.33	3.94	0.83	2.42	2.42	3.76	2.73

同组参数下, 随着采样周期的增加, 检测率和误报率降低, 原因是采样频率 (定位频率) 与定位误差对事件检测的相互作用所致。若定位误差分布一定, 采样频率越高, 算法对手机运行特性参数的变化越敏感, 事件检测率越高, 但此时定位误差对手机运行特性参数估计的干扰加大, 因此误报率相应增加。

另一方面, 采样周期一定时的检测性能可通过参数调整来提高。例如, 当采样周期为 5s 时, 设置 $T_1 = [30, 70, 12, 35, 0.28, 0.65, 60]$, T_2 不变, 参数调整后的误报率有很大改善; 若采样周期为 20s, $T_1 = [30, 70, 9, 12, 0.17, 0.38, 50]$, T_2 不变, 事件的检测率和误报率也有所改善 (见表 1)。因此, 尽管事件检测率与误报率受采样频率的影响, 但影响程度可通过参数设置适当调整。在实际应用中, 若采样频率加大, 虽然检测时间减小, 但数据传输量增加; 反之, 检测时间增加, 但数据通讯成本降低。故应综合权衡检测时间与通讯成本、检测率与误报率之间的矛盾, 以选择适当的采样频率。

交通流量偏小时, 事件对交通通行能力的影响小, 一段时间内的交通流参数不会发生突变, 相邻检测点的占有率差别不大。对此, 加利福尼亚算法很难或无法检测到事件, 所以此时的检测率要比大流量时的检测率小很多。而本文提出的算法能克服这个缺点, 表现出该算法的优越性, 如图 3 所示。

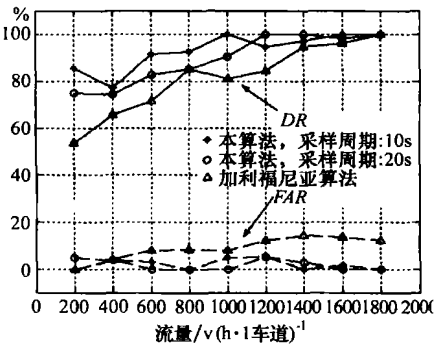


图 3 不同流量时的检测率与误报率

Fig 3 DR and FAR under different volume

4 结束语

将手机定位技术应用于我国高速公路事件自动检测具有重要的实际意义。模拟实验表明利用定位数据进行事件检测是可行的, 只要设置好所用定位频率下的相关参数, 即可取得很好的检测性能。同时, 可以根据获得的车辆行车时间、停车时间、加速度变化等, 进一步分析事件的具体类型。

参考文献:

[1] Kaan Ozbay, Pushkin Kachroo. Incident Management in Intelligent Transportation Systems [M]. Boston London: Artech House, 1999.

[2] Peter Martin, Joseph Perrin, Blake Hansen. Incident Detection Algorithm Evaluation [R]. http://www.ndsu.nodak.edu/n_dsu/ugpt/MPCC_Pub/HTML/MPC01-122.html, March, 2001.

[3] Shu-Ching Chen. Learning-Based Spatio-Temporal Vehicle Tracking and Indexing for Transportation Multimedia Database Systems [J]. IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems, 2003, 4 (3): 154 - 167.

[4] 杨耀华, 李昕, 江芳泽. 高速公路事件探测系统及算法 [J]. 公路交通科技, 2003, 20 (3): 133- 136

[5] 刘伟铭, 杨兆升. 高速公路系统控制方法 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.

[6] Yilin Zhao. Mobile Phone Location Determination and Its Impact on Intelligent Transportation System [J]. IEEE Transaction on Intelligent Transportations, 2000, 1 (1): 55- 64.

[7] Brian L Smith, Han Zhang Mike Fontaine Matt Green Final report of ITS Center project: Cellphone probes as an ATMS tool [R]. <http://cts.virginia.edu>, 2003.

[8] M William Semons, Frank S Koppelman. Use of Vehicle Positioning Data for Arterial Incident Detection [J]. Transpn Res. - C, 1996, 4 (2): 87- 96.

[9] Ygnace J- L, Drane C. Cellular Telecommunication and Transportation Convergence: Case Study of a Research Conducted in California and in France on Cellular Positioning Techniques and Transportation Issues [R]. Proc. 4th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2001.