

【文章编号】1672-5328(2005)04-0063-06

基于手机定位的实时交通数据采集技术

杨飞 裘炜毅

(同济大学, 上海 200092)

【摘要】 交通数据采集是建设智能交通系统的首要环节, 如何通过较为经济的方式及时获得质量可靠的交通数据是当前国内外交通数据采集面临的重大问题。首先介绍了手机定位技术应用于交通数据采集的发展背景和需求, 同时介绍了TDOA, A-GPS, CELL ID with TA, Handover等常用定位技术, 并对其定位精度进行对比。分析了基于手机定位技术的交通数据采集技术的关键问题, 总结了近年国外高校、交通研究机构的主要研究成果和项目经验, 最后提出进一步需要解决的问题。

【关键词】 手机定位; 交通数据采集; 辅助GPS; 切换; 定位精度

【中图分类号】 U491 **【文献标识码】** A

Mobile Phone Location Based Real Time Traffic Data Collection-Research

YANG Fei, QIU Weiyi

(Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Traffic data collection is the construction of the ITS system and how to gain the traffic data with reliable quality by an economical way is an important issue. This paper firstly introduces the background and demand of the mobile phone location based traffic data collection, then several mobile phone location technologies are introduced and their location accuracy is compared. Some key issues about the mobile phone based traffic data collection are analyzed. the program experience and research results by the foreign transportation agency and universities are reviewed. At last, several problems which need further study are put forward.

Keywords: mobile phone location; traffic data collection; A-GPS; handover; location accuracy

交通数据采集是ITS建设的首要环节, 是ITS各个子系统应用的基础。目前应用最成熟的数据采集方式是环形线圈技术, 但其局限性日益明显, 需要新的数据采集技术进行补充。GPS流动车辆数据采集方式近来受到较多关注, 这种方式需要在车辆上加装GPS车载设备, 初期投资较高、覆盖范围有限, 目前国内外还未得到广泛应用。应用手机定位技术采集交通数据, 由于其投资小、覆盖范围广、海量数据等特点, 受到国外交通机构的普遍关注, 目前正在开展大量的关于手机采集交通数据的项目。

1 发展背景和需求

在美国国家行政驱动和市场需求拉动下, 手机定位技术迅速发展、成熟。为了提高911紧急电话的处理效率, 美国联邦委员会(FCC)对网络运营商提出要求, 在2005年年底之前对911电话的呼叫位置必须达到一定精度的定位要求^[1], 见表1。

同时, 无线定位服务(Location Based Services, LBS)有着较大的市场利润和商业空间。据相关统计数据, 目前的LBS市场价值在5亿美元, 预计在未来几十年里将增加到360亿美元, 市场潜力较大, 这就

收稿日期: 2004-07-07

作者简介: 杨飞(1980—), 男, 同济大学交通运输工程学院博士研究生。Email: yangfei_tongji@163com

推动了各大无线运营商积极开发研究手机定位技术。

在技术方面，传统的环形线圈数据采集技术的局限性包括：埋设线圈会对已建道路造成破坏；线圈损坏率高、维护费用较大，据美国交通部门测算，线圈损坏率大约为30%，每年需要花费约20~30亿美元进行维护；只能采集到地点车速和流量数据，不能获得路段行程时间；覆盖范围有限，只有在已经埋设线圈设施的路段才能采集数据。

相比较而言，手机定位技术应用于交通数据采集的方式，其优点可以弥补线圈采集的局限。利用已有的通信设施投资小，可以采集路段行程时间，覆盖范围广，原则上只要在信号覆盖区域都能实现交通数据采集，数据量丰富。

表1 联邦委员会对手机定位技术精度的要求
Tab.1 FCC guidelines for location accuracy

定位方式	67%的定位精度	95%的定位精度
基于手机终端(Handset based)	<50	<150
基于网络(Network based)	<100	<300

表2 近期国外手机定位技术应用于交通数据采集概况
Tab.2 Recent development of mobile phone location based real time data collection

年份	国家	研究机构	研究课题 / 项目	技术类型
1999	法国	交通研究协会	运用手机进行交通探测 (SERTI Cell Phone as Probes Project)	结合时间提前量的小区定位 (GSM/CELL ID with TA)
2000	美国	Berkeley	对圣佛朗西斯科海湾道路网络运用手机作为探测器估算行程时间 (Travel Time Estimates on the Bay Area Network by Using Cellular Phones as Probes)	辅助卫星定位 (GSM/A-GPS)
2002	英国	ITIS	美国专利:浮动车辆交通数据建模和处理系统方法以及应用理论 (US Patent:Method and System For Modeling and Processing Vehicular Traffic Data and Information and Applying Theory)	手机切换 (GSM/handover)
2002	加拿大	加拿大交通运输发展中心和CELL-Loc有限公司	手机定位技术应用于交通监控:概念框架研究 (Traffic Monitoring Application of Cellular Positioning Technology: Proof of Concept)	时间到达差 (GSM/TDOA)
2004	荷兰	LogicaCMG公司	为荷兰的 North Brabant 省提供 MTS (Mobile Traffic System) 服务	时间到达差 (GSM/TDOA)
2005	加拿大	加拿大交通运输发展中心和 Globis Data 公司	使用手机作为交通探测器的实验系统开发研究 (Development and Demonstration of a System for Using Cell Phone as Traffic Probes)	辅助卫星定位 (GSM/A-GPS)

2 常用的手机定位技术

近期国外开展的项目中，对于手机定位技术均有应用，见表2。基于手机定位技术的交通数据采集通常采用以下4种方式。

2.1 时间到达差定位方法

时间到达差 (Time Difference of Arrival, TDOA)定位方法的基本思想是^[1-2]，通过在每个基站上加装一个位置测试单元(Location Measure Unit)来测量手机移动台发射信号到达不同基站的时间差，计算出移动台到不同基站的距离差。然后，根据几何原理，由平面上的一个动点到两个定点的距离为一个常数的轨迹，是一条双曲线，如果距离的正负已知，那么该轨迹为双曲线的一支。为了确定手机的位置，至少必须有两条相交的双曲线。因此，TDOA定位方法至少需要三个基站，而且各个基站的时间必须同步。

如图1所示，设 t_1 ， t_2 分别为基站1和基站2发射信号的时刻， t_3 ， t_4 分别为手机接收到基站1、基站2信号的时刻，则 $d_1 = (t_3 - t_1) * C$ ， $d_2 = (t_4 - t_2) * C$ ，其中C为光速， $(d_1 - d_2)$ 为一个常数，同理可以计算出 $(d_2 - d_3)$ 也为一常数。因此，通过联立求解两条双曲线方程组就可以获得手机的位置坐标。

TDOA定位方法是一种基于网络的定位技术，无需手机与基站时间同步，定位精度在30~50 m。

2.2 辅助卫星定位技术

辅助卫星定位 (Assisted GPS, A-GPS)的定位原理跟GPS定位原理类似^[1-2]，在手机内加装GPS定位芯片，通过卫星信号计算位置。不同的是，A-GPS方式通过传输一些辅助参数，可以大大缩小代码搜索窗口和频率搜索窗口，使得定位时间从10 min缩短到几秒钟。实际上，服务器就是静止的GPS接收器，通过具有辅助功能的服务器将卫星的微弱信号传送到手机来增强移动GPS接收器的能力。A-GPS定位技术精度一般在10~20 m，有时候受GPS信号的影响定位精度略有下降。

2.3 结合时间提前量的小区定位技术

手机在通话过程中会跟邻近的基站保持通信联系，基站的覆盖范围一般在几百米至1 000 m。

因此, 通过判定手机通信的当前服务基站, 就可确定手机位置在基站的覆盖区域范围内, 如图2^[3]a所示。时间提前量(Time Advance, TA)是指通信信号在手机和基站之间来回传输一次的时间, 通过 $(TA \times C)/2$ 可以估算出手机到基站的直线半径距离。因此, 通过TA可以进一步计算出手机的位置坐标(见图2b)。

结合时间提前量的小区定位(Enhanced Cell ID with TA)技术不需要在基站上加装设备, 其定位精度较低, 取决于基站的覆盖半径。在农村、城市郊区, 基站覆盖半径较大, 一般在1~2 km; 在市中心话务量较高, 基站覆盖半径最小可达100 m。

2.4 基于手机切换的交通数据采集方法

切换(Handover)是指在通话过程中, 为了保持通话的连续性, 当手机的当前服务基站信号强度衰减到一定程度时, 手机选择新的基站作为当前服务基站的过程。利用车上手机沿道路行驶时沿路基站发生切换的信息来估算出路段的行程车速, 其基本原理、步骤解析如下^[4]:

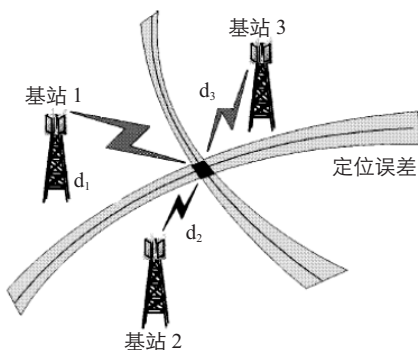


图1 TDOA定位原理

Fig.1 The principle of TDOA technology

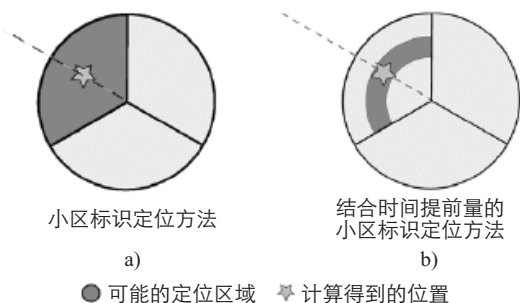


图2 结合时间提前量的小区标识定位原理

Fig.2 The principle of enhanced cell ID with TA

1) 切换网络标定

定义道路上发生手机切换的位置为切换点(Handover Point), 连续发生两次手机切换的路段为切换路段, 切换点和切换路段构成切换网络(Handover Network)。在道路上标定出手机发生切换点的位置, 通过专门的测试软件经过实地测试获得其切换点的坐标, 计算出每条切换网络的路段长度。如图3所示, 其中A(1, 2)就是一个标定的切换点, 表示手机从基站1切换到基站2的位置坐标; L_1 就是两个切换点A(1, 2)和B(2, 7)之间的路段。

2) 路径匹配

按照预先标定好的切换网络, 在理想条件下每条道路都有一条稳定的切换序列与之对应。按照基本原理图, 与道路相对应的手机切换序列为1-2-7-8-14-15-21-24-27, 当通过GSM网络中7号信令解析出来的小区标识全部或者部分与这条道路的切换序列相一致, 就将这个手机的移动路径匹配到这条道路上。例如, 采集到手机切换序列为8-14-15、1-2-7、15-21-24-27等, 均可以判断手机移动路径在这条道路上。

3) 路段速度计算

在完成路径匹配后, 就可以进行每条路段的速度计算。手机至少发生2次切换, 才能计算出速度。例如, 如果采集到的手机序列为1-2-7, 其间的时间差为 t_1 , 那么按照事先标定的切换网络可以得到发生这样一次切换序列手机移动的距离为 L_1 , 那么可以计算出手机移动的速度为 $V_1 = L_1 / t_1$ 。按照同样的方法, 根据采集到的手机切换序列计算出所有相应的路段速度 $V_i, i = 2, 3, \dots, 7$ 。

3 关键技术

3.1 预先得到手机的位置坐标

A-GPS、TDOA、Enhanced Cell ID with TA这三种方法均需要预先计算得到手机的位置坐标, 这个位置坐标跟手机真实位置存在一定的误差, 然后再将存在误差的位置坐标通过路径匹配到道路上, 至少经过连续两次定位、匹配后就可以估算出路段行程车速。这类技术方法与GPS流动车辆采集方法类似, 只是得到位置坐标的原理不同。其确定位置坐标的基本步骤见图4。

这类技术方法的关键问题主要包括: 定位精度与

路径匹配率的关系、定位更新频率与道路匹配率的关系、定位密度(单位面积、单位时间内位置坐标的数量)与道路覆盖率的关系以及路径匹配算法的选择。

1) 定位精度与路径匹配率的关系

定位精度越高，能正确匹配到道路上的概率越大。研究初期，Berkeley用一种简单的几何路径匹配算法进行路径匹配，对于100 m定位精度而言，仿真分析时均假设手机在道路上行驶的车辆中，试验结果表明高速公路的路径匹配率仅为68%。之后通过驾驶行为模型(Driver Behavioral Model)和空间转移模型(Spatial Shift Model)进行修正改进，全部道路平均的匹配率能达到97.5%左右，如图5^[5]。

2) 定位更新频率与道路匹配率的关系

定位更新的频率影响路径匹配的概率。如果定位更新的频率较低，连续两次位置出现的时间间隔较长，那么经过的可能路径越多，正确进行路径匹配的概率就会降低。根据美国仿真试验研究的结果^[5]，定位更新频率从1 s降至45 s时，道路匹配率也从99.5%下降至98.0%，见图6。

3) 定位密度与道路覆盖率的关系

定位密度是指单位时间内每平方英里所采集到的位置点坐标的数量，反映了所采集的手机位置坐标在整个道路网络的空间分布，是产生道路网络交通数据的关键因素，路段上的定位密度越大，表明有车辆穿

过的概率越高。如图7所示，Berkeley的仿真试验结果^[5]，对于一定的定位更新频率而言，定位密度在1~40/s·mile²(1 mile² = 2.6 km²)之间的变化对道路覆盖率的影响较大，超过40/s·mile²以后趋于平缓。定位密度在40/s·mile²、定位更新频率在30 s时，道路网络中87.3%的道路有车辆穿越。定位密度越高，道路有流动车辆穿越的可能性越大。

4) 路径匹配算法的选取

地图匹配是技术的关键环节，直接影响到速度估算精度。常用的地图匹配方法有简单地理匹配法(Simple Geometric Map-Matching Techniques)、考虑网络拓扑结构的地图匹配法(Geometric Map Matching with Topology)和基于统计的方法(Statistics based Method)。其中基于统计的方法中有两种已经广泛地用于地图匹配，分别是简单概率方法和多假设方法(Multiple Hypothesis Technique, MHT)。

3.2 预先不得手机位置坐标即基于手机切换的技术方法

基于手机切换的方法关键技术主要包括切换稳定性与路径匹配的关系和切换点位置变化范围对速度精度的影响问题，但目前还比较缺乏实际的研究，对这一类问题的认识还需要进一步深入研究。

1) 切换稳定性与路径匹配

与之前预先得到手机位置坐标的方法不同，基于手机切换的路径匹配方法是通过沿道路行驶的车上手机的切换序列来判断手机所在的道路。由于手机信号受到外界因素的影响，例如城区范围内高层建筑对通信信号造成的反射、折射，造成手机切换

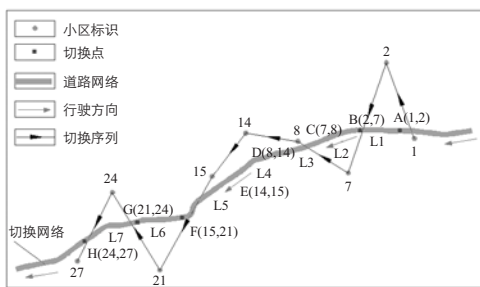


图3 基于手机切换的交通数据采集技术基本原理
Fig.3 The principle of handover-based traffic data collection technology

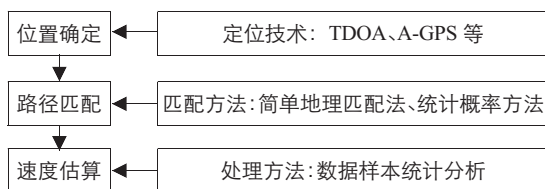


图4 通过得到位置坐标方式的基本步骤
Fig.4 Steps for location based method

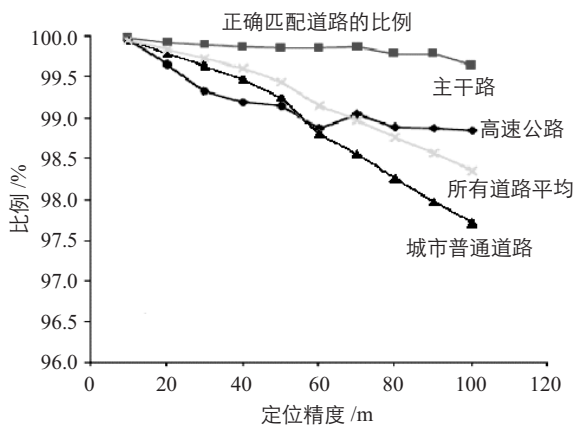


图5 定位精度与路径匹配比例
Fig.5 Percentage of location accuracy vs. road ambiguity

的不稳定, 这对于路径匹配的概率有较大影响。同时, 如何对高架道路上下、平行道路进行区分, 也是值得深入研究的问题。

2) 切换点位置变化范围对速度精度的影响

理想状态下, 手机发生切换是在两个基站覆盖范围的交界处, 由于受外界因素的影响, 切换点的位置存在着一定的变化范围。如果变化过大, 例如500~1 000 m, 那么对速度估算的精度影响就比较大; 如果变化范围在几十米, 则对速度估算的影响较小。

4 国外主要研究进展

4.1 仿真试验

1) 法国INRETS机构进行的仿真试验

仿真试验针对3种相对简单的道路网络进行研究, 分析手机定位技术用于交通数据采集的系统影响因素和精度: ①一条长15 km独立的高速公路, 包含

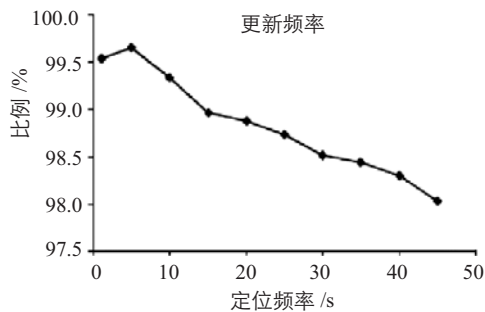


图6 位置更新频率与路径匹配比例

Fig.6 Percentage of road coverage vs.frequency of update

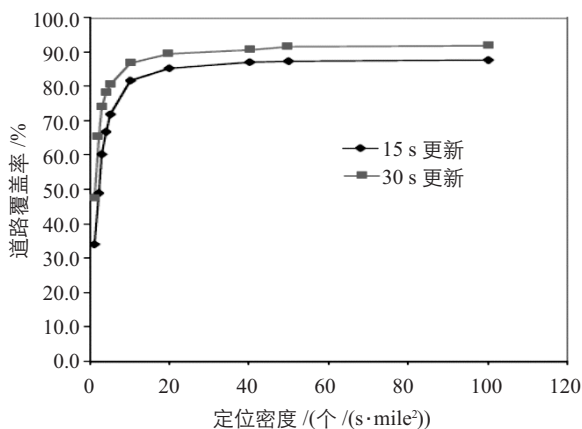


图7 定位密度与道路覆盖率的关系

Fig.7 Relation between road coverage and location density

有10条长为1.5 km的路段; ②与①相同, 增加一条距离200 m、长为3 km的平行道路; ③与①相同, 增加一条长为15 km的、距离为200 m的平行道路。仿真试验假设定位精度为150 m, 其研究结果显示^[6-7]: 交通流中如果能有5%的手机车辆提供数据, 其路段行程时间误差可以控制在10%左右。

2) 马里兰大学研究

马里兰大学的研究是为了寻找影响手机定位技术用于交通数据采集精度和敏感性的因素。研究道路选择了一条长8 km、一个车道的道路, 验证了两种定位算法angle-angle和angle-hyperbola。针对不同的采样时间、速度变化、车辆位置的情况, 分析其对于系统精度的影响情况。研究结果显示^[6,8], 手机定位技术用于交通数据采集能够提供高速公路上交通流的大致特征, 但通过仿真试验还难以估算出较为准确的速度。

3) Berkeley大学仿真研究

研究目的是为了分析技术的影响因素, 在实验中验证了3个主要的影响因素: 定位精度、定位更新频率和定位密度。主要研究结果显示^[5-6]: ①采用基于网络的定位方式定位精度达到100 m, 假设位置更新频率为30 s, 最大定位密度为40/s·mile², 则在每5 min时间间隔内, 85%的路段至少有一辆车穿越; ②采用基于手机终端的定位方式, 定位精度达到50 m, 仍然假设定位更新频率为30 s, 最大定位密度为40/s·mile², 在每5 min时间间隔内, 90%的道路至少有一辆车穿越。此研究没有回答是否具有足够的样本量来进行速度估算。

4.2 实地测试

1) CAPITAL实地测试

美国第一个关于手机定位用于交通数据采集的实地测试是在Virginia的几条洲际道路和洲内道路开展的, 项目名称为CAPITAL (Cellular Applied to ITS Tracking and Location), 通过项目评估有以下结论^[6-7]: ①实地测试的定位精度可以达到100 m范围, 如果能够获得基站信号传输的方位角信息, 则定位精度将会大大提高, 如果能达到5~25 m的定位精度, 基本上可能较为准确地进行速度估算; ②为了计算路段行程车速, 对每个所追踪的手机而言, 至少需要连续发生4次定位, 但这种情况发生的概率仅为20%。因此, 还不能通过计算路段速度进而扩展到整个路网速度的

估算。一方面，需要更多的定位数据点，另一方面，需要提高路径匹配的算法效果来进行改进。

2) 美国无线运营商的实地测试

Berkeley大学和美国无线运营商合作在Oakland也开展了手机定位用于交通数据采集的实地测试，获得了44 h的定位数据样本。测试结果表明^[9]，定位精度能够达到60 m，但是这次测试没能够将定位结果较好地匹配到道路上。手机的通话时间较短，平均仅为30 s，这对于计算路段行程车速造成了较大困难。结果，60%的位置坐标没能匹配到正确的道路上。

5 需要进一步研究的问题

1) 实际中技术本身的特性

虽然开展了一些实地测试项目，但目前大多数研究还是在仿真试验层面，对于在实际过程中仍然未能清晰地认识技术的本身特性。例如定位精度、位置更新频率以及定位密度，这些特性跟手机通信过程中的信号传输、话务量、网络负荷等因素有关。

2) 道路网络类型对技术的影响

即技术的适用性问题，技术应用在高速公路、城市主干路以及由平行道路和相交道路构成的网络环境中，不同的道路网络类型可能会有不同的应用效果，需要分别研究。

3) 路径匹配算法改进

路径匹配是手机定位技术应用于交通数据采集的关键环节，目前使用的简单地理匹配法、考虑拓扑结构的匹配法以及概率统计匹配方法的使用效果还不是很好，需要改进，以提高匹配率。

6 结语

基于手机定位的交通数据采集技术由于其投资小、数据量大、采集覆盖范围广等特点，日益受到交通机构的重视，目前国外同步正在展开一系列的研究，将是交通数据采集的一个重要发展趋势。交通数据采集是建设ITS的基本环节，对我国而言，由于投资的限制，不可能在短时间内投入大量资金进行交通数据采集。因此，需要寻求新的采集技术，在成本合理基础上能够获得一定质量的数据，手机定位技术为交通数据采集提供了解决潜力。但总的来讲，目前对

于基于手机定位的交通数据采集技术还处于早期的研发阶段，研究表明其数据质量精度还难以满足ITS系统构建以及交通规划对数据质量的要求，还有待进一步开展实际研究项目。

参考文献

- 1 Yilin Zhao. Mobile Phone Location Determination and Its Impact on Intelligent Transportation Systems [J]. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, 2000, 1(1): 55~64
- 2 李俊. GSM系统中的移动定位技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2002
- 3 Graham Wilde, Jake Saunders. E-112 Issues and Answers: Recommendations and Insight for the Optimal Planning and Implementation of E-112, Emergency Wireless Location For the European Union [Z]. United States: True Position, Inc, 2004
- 4 Feldman et al. Method And System For Modeling And Processing Vehicular Traffic Data And Information And Applying Thereof [Z]. United States Patent: 2003.
- 5 Cayford, R. , Johnson. Operational parameters affecting the use of anonymous cell phone tracking for generating traffic information [Z]. Washington, D. C. . Proc. , Transportation Research Board 82nd Annual Meeting, Transportation Research Board, 2003
- 6 Brian L. Smith, Han Zhang, Michael D. Fontaine, Matthew W. Green. Wireless Location Technology-Based Traffic Monitoring: Critical Assessment and Evaluation of an Early-Generation System [J]. . Journal of Transportation Engineering, 2004, 130(5): 576~584
- 7 Ygnace, J. -L. , Remy, J. -G. , Bosseboeuf, J. -L. , and Da Fonseca V. Travel time estimates on Rhone corridor network using cellular phones as probes: Phase 1. Technology assessment and preliminary results [R]. France : INRETS, 2000
- 8 University of Maryland Transportation Studies Center (UMD). Final evaluation report for the CAPITAL-ITS operational test and demonstration program [R]. Maryland: Univ. of Maryland, 1996
- 9 Yim, Y. B. Y. , and Cayford, R. . Investigation of vehicles as probes using global positioning system and cellular phone tracking: Field operational test [R]. UCB-ITS-PWP-2001-9, California: Institute of Transportation Studies, Univ. of California at Berkeley, 2001