

国家自然科学基金资助项目 (50908195, 51178403)

基于手机切换定位的 道路行程车速采样提取技术研究

Link Travel Speed Data Capture Technology
Based on Cellular Handoff Information:
Method, Algorithm and Evaluation

杨 飞 著



科学出版社

基于手机切换定位的道路行程车速 采样提取技术研究

杨 飞 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

基于手机定位的交通数据采集技术研究是近年来智能交通领域的热点问题之一,它具有成本低、覆盖范围广、海量数据及实时动态的优点。本书共包含 10 章内容。前 4 章介绍了该研究的背景、意义、相关概念和理论;后 5 章在分析了实测数据的基础上,提出考虑切换扰动特性的切换路网标定与道路匹配一体化算法,探索了手机数据除噪方法并进行了技术实证和仿真评估;第 10 章根据现有研究的不足提出需要进一步深入探索的问题,并结合新一代移动通信网络的演进发展趋势提出手机定位技术研究的新趋势。

本书可用作交通运输工程、通信工程、信息科学与技术等相关专业高年级本科生、研究生教学科研用书,也可供从事城市规划、土木工程、环境工程等工作的技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于手机切换定位的道路行程车速采样提取技术研究 / 杨飞著.

—北京: 科学出版社, 2013

ISBN 978-7-03-037424-0

I. ①基… II. ①杨… III. ①移动电话机—应用—城市道路—
定点导航—研究 IV. ①U412.37②TN96

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 093661 号

责任编辑: 杨 岭 华宗琪 / 封面设计: 墨创文化
责任校对: 高 远 / 责任印制: 邱志强

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年6月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2013年6月第一次印刷 印张: 11 3/4

字数: 210千字

定价: 68.00元

序 一

手机定位技术应用于交通数据采集是当前智能交通领域的国际前沿问题之一，庞大的手机用户人群成为感知探测城市交通需求分布和变化特征的重要来源。利用该项技术的低成本、广覆盖、海量数据等优势，有望弥补传统的定点线圈、视频和雷达采集技术以及 GPS 浮动车技术的不足。同时，随着移动通信技术向新一代的 3G、4G 演进，通信网络性能的提升改善，这将更加有助于提高手机定位技术应用于交通数据采集的效果，拥有广阔的市场前景和研发潜力，有望成为我国城市交通管理的基础交通数据来源，具有重要的实践意义。

笔者在以下三方面取得了突出贡献：（1）全面、系统梳理了过去 10 多年国内外相关研究成果，从早期的手机基站三角定位方法到目前的切换信令方法，对比不同定位方法的特点，总结了各国研究学者的贡献和不足，这是目前该研究方向首次最为全面系统的文献总结；（2）创新性地提出了动态切换扰动特性下的切换路网概率标定算法和基于图论的手机切换样本道路匹配算法，这是手机切换技术应用的两大关键问题，突破了技术瓶颈，为该项技术投入实用奠定了基础；（3）构建了手机移动通信与微观交通集成仿真模型，该模型融入了真实环境中的通信协议、手机切换信令流程等，能够有效模拟仿真切换数据并与实际中的扰动规律有较好的一致性，显著改善了之前切换仿真模型的缺陷，这在国际研究上取得了该研究方向开创性的贡献，有利于实现手机切换技术的深入全面应用评估。

过去 10 年中，笔者一直坚持手机定位技术的交通应用研究方向，在国内外同行中取得了较好的知名度和影响力，研究态度严谨、客观。在该书的研究展望中，笔者还提出了将手机定位技术拓展应用于居民出行行为和活动特征的调查与分析，能够改善提升传统居民出行问卷调查方式的不足，这样的研究趋势判断具有较好的前瞻性。

国家级教学名师 罗霞教授

2013 年 4 月

序 二

美国从 90 年代中期就开始研究手机定位技术在交通数据采集中的应用,但由于个人隐私、网络安全等因素导致缺少足够的真实通信网络数据用于评估分析,因此经过十多年的研究还有一些技术问题有待进一步深入探讨。目前,国内外已有一些实际运营的基于手机定位的交通数据采集和发布系统,依托所积累的海量真实数据能够揭示该技术实际中的应用效果。本书提出的移动通信和交通集成仿真平台有望辅助探索深层次的关键技术特性,例如,评估不同交通状态、抽样率、道路类型和建筑环境等条件下的误差精度、样本量,而这些条件难以在真实环境下有控制性地设定。同时,对于中国等发展中国家而言,交通调查费用是一笔不小的支出,目前中国很多大中城市交通规划编制中仅用于交通调查的费用就已高达几百万,而本书所述基于手机定位的交通数据采集技术能够充分利用通信运营商已有设施,有望大幅降低调查成本,具有很好的经济效益。

本书的手机通信仿真模型相对于以往的研究有显著的创新贡献,在移动通信和交通工程两个交叉领域中捕捉到结合点,突破了长期以来手机在交通数据采集应用研究中的数据瓶颈难题。总体上来看,过去的手机定位仿真研究大都缺乏与移动通信特征因素相结合,采用的假设通常较大程度地偏离手机通信实际特征,这使得通过仿真获取的手机数据与真实情况存在较大差距,因而不能切实地揭示该技术的真实应用效果。例如,假设基站小区具有相同的覆盖范围,小区形状是理想的正六边形,小区边界是规则的。但是,实际中小区覆盖范围各不相同,也并不规则,小区边界也并非静态固定而是随时间动态变化。本书重点针对已有仿真研究较少的基于手机切换追踪信息的行程车速采集技术类型,充分结合通信网络特性构建仿真数据平台,选择实际的基站布局和道路网络,有效改进现有切换仿真模型不足,提出结合实际通信协议、切换流程、切换控制算法的手机切换仿真数据平台的构建框架和方法,能够模拟真实的道路交通和手机通信环境下的切换发生过程。

本书提出的融合了移动通信与交通集成仿真的方法论,随着通信系统的演进升级,还能够适用于新一代 3G/4G 移动通信仿真研究;在交通数据采集的内容方面,也可以拓展应用于个人出行行为特征的提取,具有突出的方法论意义,为今后进一步持续开展手机定位的研究提供了重要基础。

国家“千人计划”特聘专家、美国威斯康星大学麦迪逊分校 冉斌教授

2013 年 4 月

前 言

道路交通数据是构建智能交通系统的重要基础,如何以经济、便捷的手段获取良好质量、精度的交通数据一直是智能交通研究领域中的关键问题之一。早期的定点线圈技术能够较为准确地采集路段和交叉口的交通量、车型和地点车速等数据,但由于其损坏率高、投资和维护成本高等原因难以在广域范围内应用。美国 90 年代曾经大力推广线圈采集技术,也因为较高的维护费用无法在全国范围内大规模开展应用。随着 GPS 技术的发展,“移动探针式”的浮动车交通数据采集技术逐步受到重视。目前,国内有一些城市已经研发了出租车 GPS 交通信息采集平台,这种技术相对于传统的定点采集技术具有一定的优势,但仍然存在一些不足。例如,初期投资较高, GPS 信号遮掩地区无法应用,出租车大都集中在中心城区范围、无法覆盖城郊及外围区域等。因此,迫切需要寻求新的技术以弥补既有交通数据采集技术的局限。

基于手机定位的交通数据采集技术研究是近年来智能交通领域的热点问题之一,相对于传统的线圈、视频、雷达和 GPS 采集技术,具有成本低、覆盖范围广、海量数据及实时动态的优点。随着 3G、4G-LTE 新一代移动通信技术的快速演进,手机定位技术应用于交通数据提取具有十分广阔的发展潜力。另一方面,我国手机拥有率非常高,手机用户群体庞大,能够像无数的神经元时时刻刻向大脑汇集各类感知信息,除了对道路交通车流数据的采集,还可以拓展应用于个人交通出行行为特征的追踪提取。这一点相对于以往的交通数据采集技术突显出更加持久的生命力,毫无疑问地将成为今后相当长一段时间的研究热点问题。本著作重点针对手机切换追踪定位技术的应用研究,而这方面的研究也是手机定位技术在交通领域应用的研究重点。

本书总结了笔者过去 10 年对手机定位技术在交通应用领域的持续追踪研究成果。回顾过去的这十年,跨越了攻读博士、任教科研以及从事博士后研究 3 个阶段,这期间面临过“无法突破”的瓶颈、感受过“断头路”的无奈,但都倍感幸运地坚持了下来,这本书某种程度上也是笔者自己的科研日记。2004 年,笔者在同济大学攻读博士学位,期间在杨东援教授的指导下,参加了冉斌教授和上海移动通信公司合作开展的基于手机定位的交通数据采集项目。当时对于手机切换进行交通数据采集的技术原理还较为模糊,笔者主要负责运用 TEMS 信令采集分析软件测试手机切换数据。一次又一次反复、枯燥的测试,不停地在相同的几条道路上跑车,正是这样的经历让笔者能够有机会大量地实地体验实际中手机切换数据的变化规律,再结合内业的分析处理逐步摸索出清晰的技

术基本原理和流程,这个过程让笔者深入理解了实践的重要性并顺利地完成了博士学位论文。这个阶段要特别感谢导师杨东援教授、冉斌教授和师兄裘炜毅博士的帮助。2007年7月,到西南交通大学工作,想要继续开展手机方面的研究最大的困难就是缺少数据,首先想到的就是尝试通过仿真解决数据瓶颈问题。做博士论文期间,阅读了关于通信仿真的一些文献,但由于缺少通信基础知识对于具体如何实现无法落实,这时找到了信息学院的研究生崔亚平。通过交叉学科的碰撞与磨合最终实现了在匀速交通假设状态下的通信仿真,并严格按照切换流程和通信协议开展切换仿真,使得其结果能够较为真实地体现实际网络环境下的切换特征,在此基础上重点分析了一对切换作为基础单元情况下切换扰动对行程车速的采样误差影响,取得了“点”上的突破。这个阶段要感谢崔亚平的支持,也让笔者领悟到如何有效开展交叉学科研究。2009年9月,第一次成功申请到国家自然科学基金青年项目“基于手机切换定位的道路行程车速采样提取技术研究(项目编号:50908195)”,科研热情倍受鼓舞,也逐步开始积累独立组织一个科研团队开展研究的经验。这个阶段面临的新难题是,如何将符合交通流运行特征规律的交通仿真与通信仿真相融合,突破之前交通状态匀速运行的假设局限,使得仿真结果能够更加真实。带着这样的思考和疑惑,2011年1月,受国家留学基金委资助公派前往美国威斯康星大学麦迪逊分校从事1年的博士后研究工作,这期间借助冉斌教授提供的科研平台环境创新性地取得了突破。以美国麦迪逊市的实际道路交通仿真为基础,结合当地的手机基站布局构建了融合移动通信和交通流的集成仿真平台,相对于已有的切换仿真有实质性的突破,从“点”上的研究拓展到了“线”和“面”。借助这个集成仿真平台能够生成较为真实的、在城市道路上运行的车载手机切换数据,为深入探索该项技术的效果评估提供了非常重要的基础。这个阶段要感谢威斯康星大学麦迪逊分校的金景博士和程阳博士,笔者在和他们不断的讨论和争论中明确了研究思路;感谢研究生崔亚平、夏军和博士生杨达,他们协助完成了大量的通信仿真实验、数据分析与处理。2011年9月,笔者有幸获得了第二次国家自然科学基金面上项目资助“融合多源移动定位时空数据的居民出行行为与活动分析技术研究(项目编号:51178403)”,重点集中于移动定位技术在居民出行调查和出行行为特征的提取,其中以手机定位为主导、GPS定位技术为辅助开展相关研究。2012年回国后,不断完善和总结手机切换应用于行程车速的研究成果,逐步形成了本书最终的稿件。

本书主要依托于笔者主持的2项国家自然科学基金——“基于手机切换定位的道路行程车速采样提取技术研究(项目编号:50908195)”和“融合多源移动定位时空数据的居民出行行为与活动分析技术研究(项目编号:51178403)”的相关研究成果进行提炼整理而成。本书共包含10章,第1章介绍研究背景、意义和应用前景,提出了关键问题、技术路线,梳理了研究特色与创新点;第2

章全面总结了国内外近 20 年关于手机定位技术应用于交通数据采集的实证与理论研究工作,便于读者详实掌握研究现状和趋势;第 3 章介绍基于手机切换定位的行程车速采样提取技术原理和框架,主要包括手机切换样本数据提取、切换路网标定、道路匹配和速度整合计算 4 个步骤;第 4 章整理了与本书相关的移动通信领域的基本概念和理论,涉及 GSM 移动通信网络构架和功能模块说明、移动通信呼叫建立过程、切换的概念和切换控制理论以及移动通信信道的电波传播理论;第 5 章结合实测数据分析了手机切换扰动的规律特性,并从移动通信层面进行了解释,还给出切换扰动特性对于车速提取算法设计和采样精度影响的关系;第 6 章提出考虑切换扰动特性的切换路网标定与道路匹配一体化算法,论述了切换路网标定的思路、方法和步骤,结合城市高架快速路和城市地面主干道实测数据给出了切换标定实例;第 7 章讨论了手机数据除噪问题,列举了干扰噪声数据的特点和类型,运用仿真模型和实测数据,借助聚类分析算法探索了手机数据除噪方法;第 8 章根据真实的手机通信网络数据提取得到的手机切换样本信息,按照之前设计的提取算法和数据除噪方法进行了技术实证评估,从样本量、误差精度方面分析了技术特征和效果;第 9 章重点论证仿真环境下的技术评估分析,融合真实环境中的通信协议和切换流程,创新性地构建了移动通信与交通流集成仿真平台,在此基础上设计多样化实验评估不同交通状态、道路类型、采样率、通话时长等影响因素条件下的技术效果特征;第 10 章(由研究生姚振兴编写)根据现有研究的不足提出需要进一步深入探索的问题,结合新一代移动通信网络的演进发展趋势提出手机定位技术研究的新趋势。

本书在写作过程中得到了许多同行学者、朋友和研究生的帮助,在此特别感谢授业导师杨东援教授、冉斌教授和罗霞教授,感谢裘炜毅博士、金景博士、程阳博士和杨达博士,感谢研究生崔亚平、夏军、熊一梁、姚振兴、刘强等,有了他们的支持最终才能完成本书。还要非常感谢家人,有了他们在生活上的无私关怀才使得笔者有充足的精力投入到本书的写作中。本书创作过程中还得到了同济大学道路与交通工程教育部重点实验室开放基金资助项目(项目编号:k201207)、中央高校科研基本业务经费创新课题项目(项目编号:SWJTU11CX080)的大力资助,在此均表示由衷的感谢。

同时,本书出版过程中得到了科学出版社的大力支持,尤其是编辑华宗琪,特此一并致谢!

由于笔者专业视野和学术水平有限,本书难免有错漏和不足之处,敬请读者批评指正。

杨 飞

2013 年元月

于成都西南交通大学

目 录

序 一	(i)
序 二	(iii)
前 言	(V)
第 1 章 研究概述	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.2 研究意义	(3)
1.3 应用前景	(3)
1.4 主要研究内容	(4)
1.5 关键问题	(8)
1.6 研究技术路线	(9)
1.7 研究特色与创新点	(10)
第 2 章 基于手机定位技术的行程车速数据采集研究综述	(12)
2.1 手机定位技术的类型与特点	(14)
2.1.1 TDOA	(15)
2.1.2 A-GPS	(16)
2.1.3 结合时间提前量的小区定位技术	(16)
2.2 实地测试项目	(17)
2.2.1 美国马里兰大学 CAPITAL 项目(1997 年)	(19)
2.2.2 美国无线通信公司(2000 年)	(20)
2.2.3 法国里昂(2001 年)	(21)
2.2.4 加拿大 Cell-Loc 公司(2002 年)	(22)
2.2.5 德国慕尼黑(2003 年)	(24)
2.2.6 美国 AirSage 公司(2003~2005 年)	(24)
2.2.7 美国马里兰州交通部和 Delcan、ITIS 公司(2004 年)	(24)
2.2.8 以色列特拉维夫、ITIS 公司(2005 年)	(25)
2.2.9 加拿大渥太华(2005)	(26)
2.2.10 荷兰 North-Brabant 省(2005)	(27)
2.2.11 美国密苏里州交通部和 Delcan 公司(2005 年)	(29)
2.2.12 美国堪萨斯城交通管理中心和 CellInt 公司(2006 年)	(29)
2.2.13 美国明尼苏达州交通部和 AirSage 公司(2007 年)	(29)

2.2.14 美国加州大学伯克利分校和诺基亚公司(2008年)	(31)
2.3 仿真试验研究	(33)
2.4 总结	(37)
第3章 基于手机切换的道路行程车速采样提取技术原理	(39)
3.1 手机切换样本数据提取	(39)
3.2 切换路网标定	(40)
3.3 道路匹配	(41)
3.4 速度计算	(42)
第4章 移动通信相关基础和理论	(44)
4.1 GSM移动通信网络框架和模块功能说明	(44)
4.1.1 GSM移动通信系统网络结构和接口	(44)
4.1.2 基站子系统	(46)
4.1.3 网络与交换子系统	(46)
4.1.4 GSM系统中的区域划分关系	(47)
4.2 移动通信呼叫建立过程	(47)
4.2.1 移动台主叫	(47)
4.2.2 移动台被呼	(48)
4.2.3 位置登记	(48)
4.3 切换控制理论	(48)
4.3.1 研究概述	(49)
4.3.2 切换流程和步骤	(50)
4.3.3 切换策略和常用切换准则	(51)
4.3.4 切换延迟	(52)
4.3.5 目标基站评估与选择	(53)
4.4 移动通信信道的电波传播理论	(54)
4.4.1 阴影效应	(55)
4.4.2 移动信道的多径传播特性	(55)
4.4.3 大尺度路径损耗	(56)
4.4.4 小尺度衰落(快衰落)	(56)
第5章 手机切换扰动特性实证与理论研究及其对技术效果的影响	(58)
5.1 手机切换特性的实证研究	(58)
5.1.1 切换实地测试过程说明	(58)
5.1.2 测试道路选择原则	(59)
5.1.3 测试道路情况描述	(59)
5.2 道路切换序列变化模式定量研究	(61)
5.2.1 序列相似度计算方法	(61)

5.2.2	开阔环境中道路上手机的切换特性：城市高架快速路为例	(62)
5.2.3	高楼密集环境中道路上的手机切换特性	(70)
5.2.4	两种环境的切换扰动特性对比总结	(71)
5.3	切换对路段行程车速采集的影响分析	(72)
5.3.1	切换扰动影响道路切换序列标定和手机样本道路匹配	(72)
5.3.2	切换位置的扰动影响切换路段长的确定进而影响计算精度	(72)
5.3.3	乒乓切换产生的噪声数据降低车速计算精度	(74)
5.4	移动通信理论对切换扰动的解释	(74)
第6章	考虑切换动态扰动特性的切换路网标定与道路匹配算法	(79)
6.1	切换路网标定目的和内容	(79)
6.2	切换路网参数标定的前提基础和难点问题	(81)
6.3	切换路网参数标定思路	(81)
6.4	切换路网参数标定过程与步骤	(83)
6.4.1	由测试得到的切换序列生成切换序列对集合	(84)
6.4.2	统计所有测试样本中各切换序列对发生的次数和概率	(85)
6.4.3	生成带权重的切换路径有向图	(86)
6.4.4	寻找最大权重路径	(87)
6.4.5	计算最大权重切换路径相应的切换路段长度	(87)
6.5	切换路网参数标定结果分析	(88)
6.5.1	城市高架快速路切换路网标定	(88)
6.5.2	城市地面主干道切换路网标定	(93)
第7章	手机切换序列干扰特征分析及数据除噪方法	(98)
7.1	除噪关键问题解析	(98)
7.2	噪声数据成因、类型和特征	(99)
7.2.1	路侧行人手机样本噪声数据	(100)
7.2.2	相邻平行道路车载手机样本噪声数据	(100)
7.2.3	高架重叠道路上下层车载手机样本互干扰噪声数据	(101)
7.2.4	通信网络传输错误噪声数据	(101)
7.3	平行道路情况下的手机切换干扰分析	(101)
7.3.1	仿真试验目的	(102)
7.3.2	试验手段与方法	(102)
7.3.3	试验场景描述和参数配置	(102)
7.3.4	仿真结论	(105)
7.4	聚类分析概述	(106)
7.5	聚类分析除噪方法应用算例分析	(108)

7.5.1	采样实验道路交通环境说明	(108)
7.5.2	数据除噪试算过程	(108)
7.5.3	聚类分析结果解释评估	(111)
7.6	小结	(112)
第8章	基于手机切换的道路行程车速采集技术效果实证评估分析	(113)
8.1	城市高架快速路实证评估	(113)
8.1.1	切换路段 A(东—西)	(113)
8.1.2	切换路段 B(东—西)	(115)
8.1.3	切换路段 C(西—东)	(117)
8.1.4	切换路段 D(西—东)	(119)
8.2	地面主干道实证评估	(121)
8.2.1	切换路段 E(东—西)	(121)
8.2.2	切换路段 F(东—西)	(122)
8.3	手机切换数据实证评估分析	(123)
8.3.1	样本量	(123)
8.3.2	误差精度	(125)
8.4	小结	(127)
第9章	基于移动通信与交通流集成仿真平台的手机切换技术效果评估	(128)
9.1	手机切换位置扰动对行程车速采样误差影响	(129)
9.1.1	切换扰动及其对采样行程车速误差的影响机理	(129)
9.1.2	通信仿真试验思路和车速误差分析方法	(130)
9.1.3	通信仿真场景参数说明与仿真试验结果	(131)
9.1.4	总结	(136)
9.2	基于无线通信与交通流集成仿真的手机切换数据平台构建	(137)
9.2.1	构建背景和意义	(137)
9.2.2	基于手机切换追踪的行程车速提取技术的仿真数据平台构建 要求	(139)
9.2.3	仿真平台框架和模块说明	(140)
9.2.4	应用实例与仿真数据分析	(143)
9.2.5	总结	(148)
9.3	仿真试验预评估与分析	(149)
9.3.1	手机切换模式识别与匹配	(149)
9.3.2	切换路段车速误差分布	(151)
9.3.3	切换路段车速的集成和平滑修正	(152)
9.3.4	信息发布路段样本量与精度	(153)

9.3.5 总结	(154)
9.4 交通与通信多种影响因素组合条件下的技术效果仿真评估	(154)
9.4.1 仿真试验说明	(154)
9.4.2 不同道路类型、交通状态以及通话时长下手机切换匹配率分析	(155)
9.4.3 切换路段车速误差分布	(157)
9.4.4 信息发布路段样本量与精度	(162)
第 10 章 研究展望	(164)
10.1 深化行程车速数据采集的效果评估	(164)
10.2 拓展手机定位技术应用于出行行为调查与分析	(164)
10.3 新一代移动通信环境下的交通数据提取技术	(166)
参考文献	(170)

第 1 章 研究概述

1.1 研究背景

1) 道路交通特征参数的有效提取是构建智能交通信息平台的首要环节

城市交通拥堵日益加剧, 显著影响城市功能的正常发挥, 缓解交通拥堵的方式逐步由新建道路基础设施向通过管理手段提高设施运营潜力转变, 其中建设智能交通体系是挖掘交通基础设施运营潜力的重要方式之一, 其将信息技术融合应用于交通领域, 实现对交通状态的动态监测和交通运行质量的稳步调控。智能交通体系建设的基本环节包括交通参数采集与提取、数据处理与挖掘和交通信息发布, 其中交通参数采集与提取是首要环节, 所提取交通参数的质量与精度直接影响智能交通信息平台的可靠性。

2) 既有交通参数提取技术存在的问题与智能交通平台构建的数据需求特征

目前, 既有交通参数提取技术包括传统的环形线圈以及新兴的 GPS 定位、视频识别、雷达探测等技术, 这些技术都在不同程度存在一定的局限性, 需要其他类型提取技术进行弥补, 组成多源数据有效支撑智能交通平台建设。环形线圈技术的典型问题有如下三点^[1,2]。

(1) 交通数据采集内容有限, 线圈方式只能得到道路交通流量、占有率、地点车速, 无法获取行程车速、行程时间参数, 而行程时间是用于出行规划的重要参数。

(2) 线圈的损坏率较高, 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 亿~30 亿美元进行维护。

(3) 交通监测可达区域的覆盖范围有限, 只有在已经埋设线圈设施的路段才能采集数据。根据美国经验表明静态定点传感器的交通数据采集方式应用普及比较缓慢, 在 15 年时间里仅覆盖约 50% 的城市快速路以及不到 10% 的城市主干路; 根据国内城市上海的实践, 从 2003 年开始通过两年时间、耗资近 2 亿元人民币仅覆盖一条高架快速路和中心城区内 1/6 的重要交叉口, 线圈损坏率在 30% 左右。

由此可以看出, 环行线圈定点采集方式不是一种适宜在大范围内拓展的采集方式, 尤其对资金来源有限的欠发达国家, 大规模的投资建设缺乏较好的可行性。除此以外, 线圈技术、视频识别以及雷达技术等属于定点交通参数采集

技术,较难满足智能交通建设的实时、动态、广域范围内监控道路交通状态的数据需求,因此浮动车(floating car)、AVL 等采集方式越来越受到重视^[3-5]。浮动车采集是将在城市道路网络中运行的车辆作为“探针”,这些“探针”在一定时间周期内将所探测到的交通状态主动进行报告,从而动态把握整个城市道路网络的交通运行状态,具体实现方式包括车载 GPS 定位、手机定位等。车载 GPS 定位技术具有较高的定位精度,技术应用可靠性较好,但由于其较高的初期投资和运营成本也不是每个城市都能够负担的,目前也仅在北京、上海、深圳等经济发达的大城市开展了实践。

3) 基于手机定位的交通参数采样提取的技术优势

相比较而言,手机定位应用于交通数据采集与提取,其优点是可以弥补线圈采集等其他技术的局限^[6]。

(1)成本优势。利用移动运营商已建的通信基站和网络设施,初期投资较小,只需要专业的通信信令分析机从通信网络截取相关手机信号特征数据。

(2)采样提取数据种类多样。能够提取行程车速、出行起讫点(origin-destination, OD)等多种类型的交通数据^[7,8]。

(3)覆盖范围广。原则上只要在手机信号覆盖区域都可以实现交通数据采集,尤其在郊区公路区域范围更为重要,这些地点 GPS 出租车数量较少以及缺乏环形线圈和视频等安装设备,通常都缺乏交通监测以至成为“盲区”。

(4)海量数据。手机定位技术由于其庞大的通信话务量,能够为交通参数提取提供丰富的原始数据来源,有利于确保数据采集的质量与精度。基于手机定位的交通采样提取技术完全能够以经济合理的成本提供广域、实时、动态、连续的交通监测数据,是一种极具发展潜力的技术之一。

4) 手机定位技术的快速发展为其应用到交通领域提供机遇

在美国国家安全行政要求和商业服务市场需求的双重动力驱动下,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,进一步加强国家安全监控,美国联邦通信委员会(federal communications commission, FCC)要求网络运营商在 2005 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^[8],如表 1-1 所示。

表 1-1 美国联邦委员会对手机定位精度的要求

定位方式	67%的定位精度必须	95%的定位精度必须
基于手机终端(handset based)	小于 50 m	小于 150 m
基于网络(network based)	小于 100 m	小于 300 m

同时,基于位置服务(location based service, 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 的市场价值空间在 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,这也推动各大无线运营商

积极开发研究和推广应用手机定位技术。手机定位技术的快速发展为其应用于交通数据采集提供了重要支撑。

由于明显的技术优势,包括初期投资小、覆盖范围广、海量数据等,基于手机定位的交通参数采集技术得到国外交通机构的普遍关注,在移动通信网络覆盖范围越来越广以及手机用户规模逐渐庞大的发展趋势下,手机定位技术的推广有着广泛的空间。目前已经有相当多的科研机构和商业技术公司正在开展关于手机采集交通数据的研究项目,并逐步成为国内外研究的热点前沿问题之一。

1.2 研究意义

基于手机定位的交通参数提取技术课题属于移动通信领域和交通工程领域的交叉应用研究,能够填补我国在交通参数提取技术方面的不足,在城市交通监测管理、手机定位商业增值服务拓展两个方面均有重要的实践应用意义。

(1)开发成为一项独立的数据来源弥补既有交通参数采集技术的不足,为城市交通管理部门提供广域、实时、连续、动态的道路交通参数,包括行程车速和行程时间等,与其他交通数据来源构成的多源数据进行融合,有利于政府决策者在全面、深入把握城市交通运行状态基础上有效地进行交通调控决策。

(2)在商业领域,将通过手机定位技术提取得到的道路交通动态信息面向用户通过短信、网络等方式发布,形成新兴的交通信息商业增值服务模式,延伸通信产业链、推动通信产业发展、提升产业收益空间。

1.3 应用前景

本次研究成果具有较好的可复制拓展应用性,对基于手机切换定位的交通参数提取技术剖析分解,建立起流程化的技术,实现框架体系,如果在某城市或区域成功建立起示范系统后,在只要有移动通信基站信号覆盖,经过相关调试后,都可以进行该范围内的道路交通参数采集,城市交通管理部门和科研机构都可以着手该项技术的拓展应用,为城市交通管理和交通状态演变监测提供新的数据来源依据。这类似于车载GPS技术应用于道路交通参数采集,目前已有多个国内大城市开展了车载GPS的具体实践,而基于手机定位的交通参数提取技术更有助于全方位实现道路交通状态监控,弥补既有交通参数采集的盲区和不足,尤其在城市郊区和一些重要高速公路沿线区域。

1.4 主要研究内容

基于手机切换定位的道路行程车速采样提取技术的核心思想是利用手机切换位置的连续变化信息,其车速计算的基本原理如图 1-1 所示,正在通话中的手机移动台跟随车辆在道路上行驶,道路被通信小区信号覆盖(理想情况下基站小区覆盖范围呈正六边形的蜂窝状),当车辆穿越小区时将在相邻小区交界处某个位置发生切换,利用手机连续发生切换的位置数据和相应的时间差就可以计算出切换路段的行程车速。

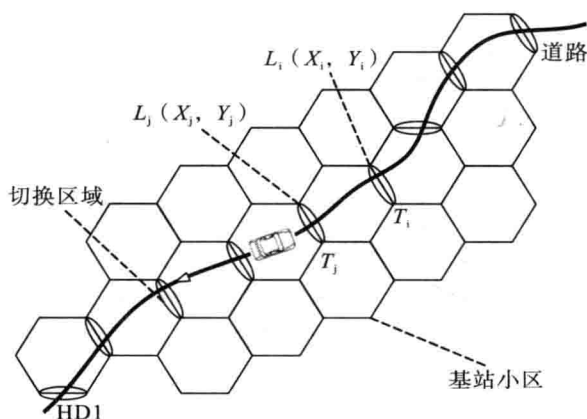


图 1-1 基于手机切换的道路行程车速采样提取技术基本原理解析

主要内容具体包含以下 5 点。

1) 手机切换扰动原因、变化规律和机理特性

切换(handoff)是指正在通话中的手机由于逐渐远离当前通信基站使得其接收信号强度逐渐下降,当降低到某一水平时为了保持正常通话质量需要将手机的通信链路从当前基站转移到另一个信号强度较高的目标基站的过程。

切换在实际过程中依据手机接受信号强度判断,无线信号传输以电磁波的方式,电磁波在传播过程中不仅随距离逐渐衰减,还受到多径效应影响发生切换扰动,如图 1-2 所示。多径效应(multi-path effect)是指实际移动信道中,由高大物体和建筑而构成的反射和散射体很多,接收机所接收到的信号是由直射、反射、绕射、散射多个路径传播的电波所合成的。切换扰动对后续行程车速提取有重要影响,直接关系到切换路网标定、手机样本的道路匹配以及采样周期间隔内样本量的变化规律。因此,通过对电磁波传输特性、多径效应的信号衰减规律和影响因素,以及对切换控制理论(handoff control theory)中有关目标基站的选择机理,包括切换策略、标准、原则、切换延迟、切换触发时机和乒乓