

基于移动通信数据的交通信息仿真系统^{*}

赵力萱, 余志, 何兆成, 林科
(中山大学智能交通中心, 广东 广州 510275)

摘要: 在建立车辆-移动台轨迹映射关系模型的基础上, 通过微观交通仿真平台与移动通信仿真平台的有机结合进行数据交互与联立仿真, 建立了基于移动通信数据的交通信息仿真系统。选取广深高速公路麻涌-望牛墩路段作为仿真路段, 实现并验证了路网中车载移动台的移动通信仿真数据生成过程。实验结果表明, 该系统能够有效模拟车载移动台在路网中运行的交通特性与无线通信特性, 产生移动台定位与切换等通信数据, 为进一步的交通信息提取研究提供可靠数据。

关键词: 仿真系统; 移动通信; 交通信息

中图分类号: U491 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579(2009)04-0024-07

A Traffic Information Simulation System Based on Mobile Communications Data

ZHAO Lixuan, YU Zhi, HE Zhaocheng, LIN Ke

(Research Center of Intelligent Transportation System, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: By developing a trajectory mapping model between vehicle and the corresponding mobile stations, data interaction and simultaneous simulation between the microscopic traffic simulation platform and the mobile communications platform are realized, and then a traffic information simulation system is constructed based on mobile communications data. By choosing the Mayong-Wangniudun Section on Guangzhou-Shenzhen Freeway as the simulation road section, the simulation data generating process of mobile communication is verified. Experiments show that the system can effectively simulate mobile stations traveling on the traffic network with vehicle characteristic and wireless communication features, also produce the location and handover data of the mobile stations, and provide reliable data for the research of traffic information extraction

Key words: simulation system; mobile communications; traffic information

交通信息采集是现代智能交通建设和道路交通管理的基础。传统的交通信息采集方式主要依靠地感线圈技术, 该方法技术成熟、检测精度高, 但同时存在投入成本高、施工周期长、容易损坏等局限性, 而且要完整地覆盖路网需要花费大量的时间和资金。新兴的 GPS 浮动车交通信息采集技术具有实时性强、可全天候工作等优势, 但需要在车辆上加装 GPS 车载设备, 投资较高, 且接收到的卫星

信号强度极易受地形影响, 其覆盖范围有限, 此外还涉及用户隐私问题, 因此该方法目前主要作为有效的交通管理与安全监控手段存在, 作为交通信息的采集方式并未得到全面推广。

目前国内移动网络的建设已较为成熟, 覆盖面广, 信号稳定, 用户群庞大, 可提供稳定、海量的移动通信数据。因此, 将车载移动台用户视为探测器, 开发利用现有移动数据资源, 便能以较小的投

^{*} 收稿日期: 2008-11-01

基金项目: 广东省科技计划工业攻关资助项目(2006B14901004)

作者简介: 赵力萱(1982年生), 女, 博士研究生; E-mail: lixuan_bei@163.com

资获得覆盖范围广泛的海量数据,在一定程度上与基于地感线圈及GPS浮动车的交通信息采集技术形成互补,构建高效可靠、适用范围更广阔的交通信息采集与事件检测体系。

目前,国内外在交通信息提取方面使用的移动通信数据源主要有基于移动台定位与移动台切换数据两种^[1]。移动台定位是通过检测目标移动台与多个固定位置收发信机之间传播信号的特征参数,如信号强度、传播时间或时间差、入射角等,结合地理信息系统,根据移动台与基站位置间的几何关系通过一定算法来估算移动台所处的位置坐标。常用的移动台定位技术主要包括基于网络的时间到达差(TDOA)技术、到达角(AOA)技术,基于移动终端的GPS定位技术及辅助卫星定位(A-GPS)技术^[2]。如TDOA,是通过测量目标移动台发射信号到达多个基站接收机的时间差来对移动台定位。而移动台切换是指将一个正处于呼叫建立状态或忙状态的移动台转换到新的业务信道上的过程^[3]。通过获取移动台的切换时刻、切换点坐标、以及沿途所经小区Cell ID序列,可估算路段行程时间及行程速度等交通参数。

在移动通信数据获取方面,多数研究机构采取与政府部门及运营商合作的方式,研发无线定位系统或在实验区域网络中加装检测设备。如日本大阪市建立的PHS系统(personal handy-phone systems)^[4],美国政府资助的CAPITAL(Cellular Applied to ITS Tracking and Location)项目与PATH项目以及法国SERTI项目等^[5-10]。而在实验室仿真方面,目前大部分的仿真对真实路网环境及移动网络环境进行了简化处理^[11],侧重于车载移动台的交通流仿真,对其交通行为与通信行为二者结合的综合仿真研究较少。

为此,本文将微观交通仿真与移动通信仿真有机结合,通过建立车辆-移动台轨迹映射关系模型,实现了微观交通仿真平台与移动通信仿真平台的数据交互与联立仿真,并在此基础上建立了基于移动通信数据的交通信息仿真系统。该系统使车载移动台在保持车辆运动特性的同时,兼具符合无线通信规则的小区选择、切换等固有通信行为特性,为基于移动通信数据的交通信息提取研究提供符合现实的仿真数据,并能进一步实现由移动通信数据源获取交通信息的全过程。

1 仿真系统

基于移动通信数据的交通信息仿真系统主要以

微观交通仿真平台与移动通信仿真平台为核心,辅以路网标定与匹配模块、通信行为仿真模块、交通信息提取与事件检测模块,模拟仿真路网中车载移动台的交通行为与通信行为,生成兼具交通特性的移动通信数据。仿真系统逻辑结构如图1所示。

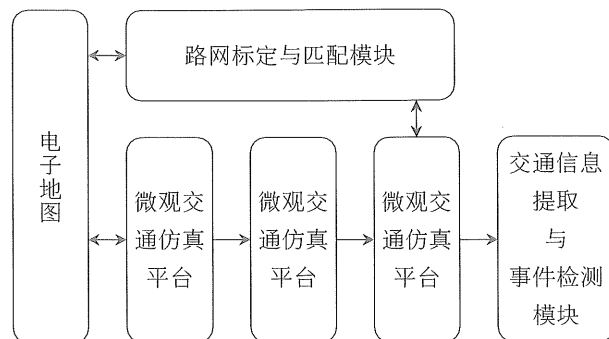


图1 基于移动通信数据的交通信息仿真系统逻辑结构

Fig. 1 Logical structure of the traffic information simulation system based on mobile communications

仿真系统的基础和关键是使微观交通仿真平台与移动通信仿真平台能够联立仿真,实现两个平台的信息共享与数据交互。系统核心部分及其流程如图2所示。

利用微观交通仿真平台仿真车载移动台在路网中按交通规则行驶的各种车辆行为特性,输出车辆

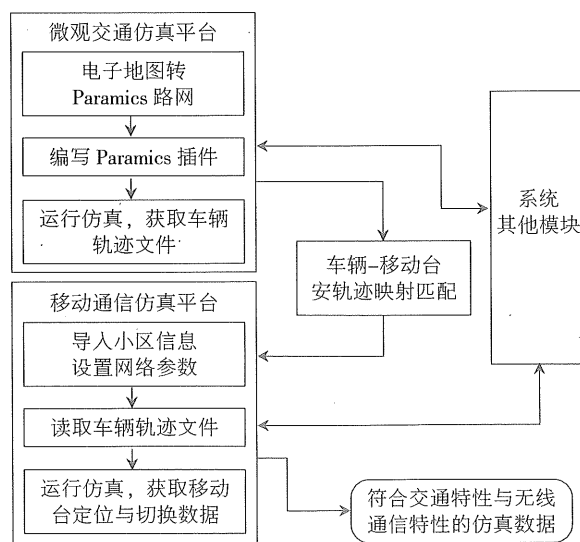


图2 仿真系统核心部分流程图

Fig. 2 The core flow chart of the simulation system

运行全过程的轨迹数据文件;建立车辆-移动台轨迹映射关系模型,进行数据匹配,使移动通信仿真平台中的车载移动台与微观交通仿真平台中的车辆运行轨迹在时间与空间上相对应;在遵循交通运动特性的基础上,移动通信仿真平台负责仿真相应车载移动台按其运行轨迹行进过程中各种符合无线通信特性的通信行为,并输出相关移动台坐标、切换时刻、切换点坐标以及沿途所经过的小区序列等通信数据。

1.1 微观交通仿真平台

本文采用由英国 Quadstone 公司开发的 Paramics 作为微观交通仿真平台,该仿真软件在交通领域学术界和工程界已被广泛采用^[12]。

在仿真平台中将车载移动台以车辆的形式表示,使其在路网中的运行具有符合交通规则的加速减速、跟驰换道等交通行为特性。再利用 Paramics 的 plug-in 机制及其提供的 API 函数^[13],从 Paramics 路网中提取各运动车辆每一仿真步长的位置数据,形成轨迹文件,写入数据库。

其主要步骤包括:通过 MapInfo 电子地图经纬度坐标与 Paramics 空间直角坐标的转换,构建反映真实路网拓扑结构与几何形状的 Paramics 路网,编写 Paramics 插件程序实现位置数据提取算法,运行仿真提取数据,最后将空间直角坐标形式的位置数据转换为经纬度坐标数据,并输出写入数据库。基本流程如图 3 所示。

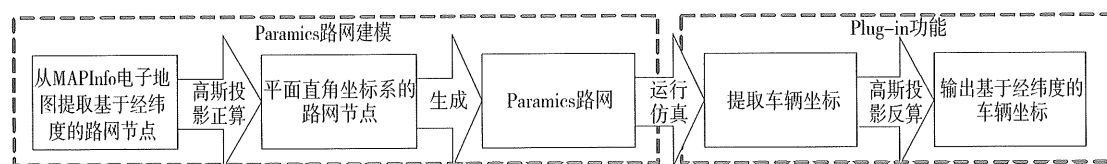


图 3 微观交通仿真平台车辆运行轨迹提取流程图

Fig. 3 The flow chart of vehicle trajectory extraction on microscopic traffic simulation platform

1.2 移动通信仿真平台

移动通信仿真平台中的每个车载移动台对应微观交通仿真平台中的唯一车辆,通过建立车辆-移动台轨迹映射关系模型,使各车载移动台的运行轨迹与微观交通仿真平台输出的相应车辆运行轨迹相对应,令车载移动台的运行具有相应交通特性。

移动通信仿真平台模拟 GSM (全球移动通信系统) 系统模型。GSM 使用时分多址的变体,是一种广泛应用于欧洲及世界其他地方的数字移动电话系统,主要由移动交换子系统 (SS)、基站子系统 (BSS) 和移动台 (MS) 三大部分组成。系统组成及各部分功能实体之间的接口及分层协议如图 4 所示。

各车载移动台在移动通信仿真平台中遵循无线通信规则进行各种通信行为,针对提取交通信息的需要,主要仿真移动台的小区选择、通话及切换行为,并根据车辆-移动台轨迹映射关系获取其经纬度坐标。输出移动台任意时刻的定位信息 (所属小区 Cell ID 及其经纬度坐标),以及通话过程中发生切换时的相应切换信息 (切换时刻、切换点经纬度坐标、源小区 Cell ID 与目标小区 Cell ID)。移动通信数据提取基本流程如图 5 所示。

1.3 路网标定与匹配模块

在选定实验路网之后,路网标定与匹配模块将实验路网划分为由切换点和切换路段构成的切换路网,标定道路的 Cell ID 切换序列标识和切换路段长度。如图 6 所示,道路沿途覆盖小区为 Cell A、Cell B、Cell C……标定道路上各小区间的切换点 1、2、3……每两个切换点之间的路段为切换路段,如 L_{12} 、 L_{23} 、 L_{34} ……在理想情况下,每条道路对应一条唯一的 Cell ID 切换序列。因此,如某移动台的切换序列为 Cell A-Cell B-Cell C,则其对应的切换路段顺序为 $L_{12}-L_{23}$,则,该移动台的行驶路径可匹配在道路 1 上。

因此,在微观交通仿真平台与移动通信仿真平台完成车载移动台的行驶与通信行为仿真并输出相关切换信息数据后,可根据移动台沿途的切换序列将移动台行驶路径匹配到相应道路上,进而估算交通参数。

此外,对基于移动台定位的交通信息提取方法,可在仿真输出移动台定位数据后,在现有成熟地图匹配技术中选取合适的方法,将所提取的移动台连续位置坐标匹配到相应道路上,进而估算交通参数。

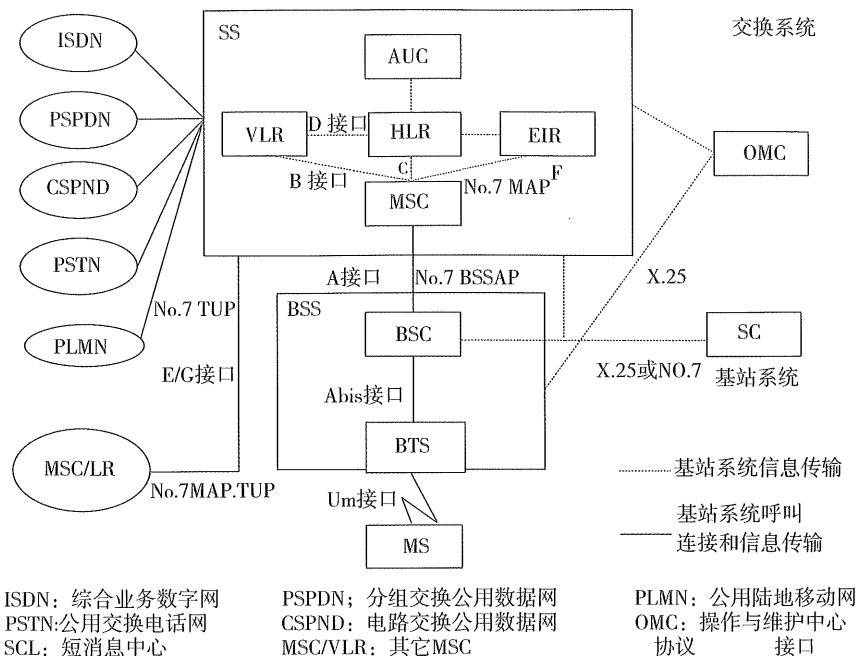


图 4 GSM 系统模型图

Fig. 4 GSM system model

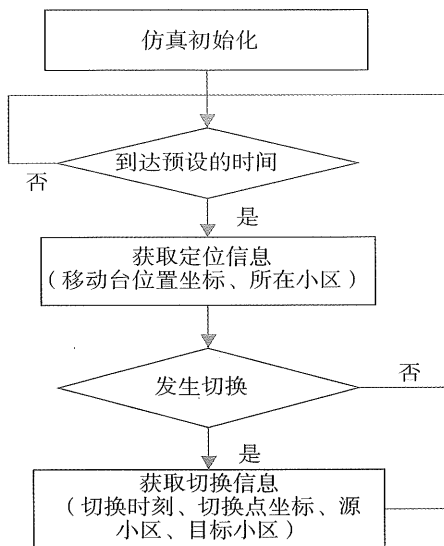


图 5 移动通信数据提取流程图

Fig. 5 The flow chart of mobile communications data extraction

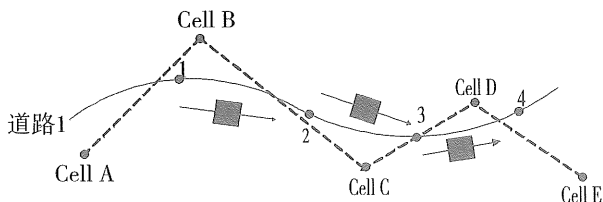


图 6 基于切换的路网标定与路径匹配

Fig. 6 Road network calibration and mapmatching based on handover

1.4 通信行为仿真模块

通信行为模块由车型与移动台对应关系模型及车载用户通信行为仿真模型组成。由于现实中每台车辆通常载有多名乘客，即每辆车搭载的车载移动台可能多于等于一台，而微观交通仿真平台 Paramics 中最小的仿真单位为车辆，因此，建立车型与移动台对应关系模型，令移动通信仿真平台中的一个或多个移动台与微观交通仿真平台中一辆车的运行轨迹相匹配，以实现单辆机动车搭载多名移动用户的仿真过程。

此外，进一步建立车载用户的通信行为仿真模型，使移动仿真平台中各类移动用户的通话、短信等通信行为符合通畅与拥堵等交通状态下一般移动用户行为的客观规律。将道路交通状态划分为正常、缓行、拥堵三类，用户类型划分为驾驶员、乘客两类，对每个个体用户在每种交通状态下赋予唯一的通信行为概率表，其内容为不同用户在不同交通状态下发生各种通信行为的概率，包括用户的通话次数、通话起止时间、通话时长、收发短信次数与时刻等。通过问卷调查了解分析各类用户的通信行为规律，制定相应通信行为概率表。车载用户通信行为仿真模型工作流程如图 7 所示。

1.5 交通信息提取与事件检测模块

对基于切换的交通信息提取方法，移动台连续发生两次切换即可计算其通过该路段的行程时间与行程速度。

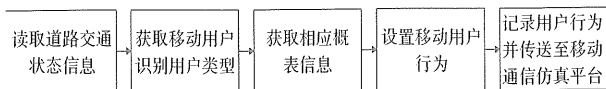


图 7 车载用户通信行为仿真模型流程图

Fig 7 The flow chart of users' communication behavior simulation model

对于基于移动台定位的交通信息提取方法,在经过连续两次定位与匹配之后,即可估算出路段的行程时间与行程速度。

因此,对仿真输出的原始移动通信数据进行归整,剔除异常数据及非车载移动台数据,选取可用于交通信息提取的切换或定位数据,经地图匹配后,通过交通信息提取模块可估算出路段的行程时间与行程速度,获得相关交通参数,并可进一步进行路段的事件检测,以实时判断分析路网的交通状态,为交通流诱导和控制提供信息支撑,提高道路交通的安全性和运行效率。交通信息提取与事件检测模块基本流程如图 8 所示。

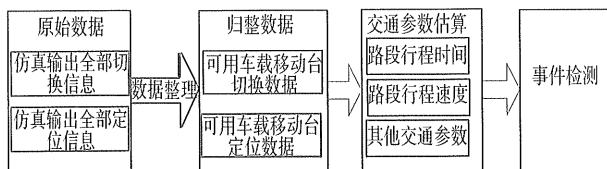


图 8 交通信息提取与事件检测模块基本流程

Fig. 8 The flow chart of traffic information extraction and incident detection module

2 仿真系统核心部分实验

仿真系统的基础和关键是要使微观交通仿真平台与移动通信仿真平台能够联立仿真,实现两个平台的信息共享与数据交互,生成兼具交通特性的移动台定位与切换等通信数据。因此,首先需要通过实验证明在此系统框架下,能够生成研究所需的仿真数据,进而验证该仿真数据的可靠性,并将该数据用于交通信息提取及事件检测。

本文选取高速公路路网作为实验路网进行仿真实验,以验证系统核心部分运作的有效性与所生成仿真数据的可靠性。

2.1 仿真路网设置

选取广深高速公路东莞段麻涌-望牛墩收费站路段作为仿真路段。此路段共长 5km,中间没有其他出入口,为全封闭路段。由于该路段已安装有完善的视频检测与地感线圈检测装置,因此,选取该

路段作为仿真实验路段,日后可进一步将基于移动通信数据与基于视频检测和基于地感线圈的交通信息提取与事件检测方式进行对比融合。

Paramics 仿真路网设置此仿真路段为双向三车道,通行速度为 95km/h。在移动仿真平台中从麻涌至望牛墩路段沿途设置四个基站覆盖区,小区 ID 序列为 Cell_A、Cell_B、Cell_C、Cell_D。基站覆盖区如图 9 所示。

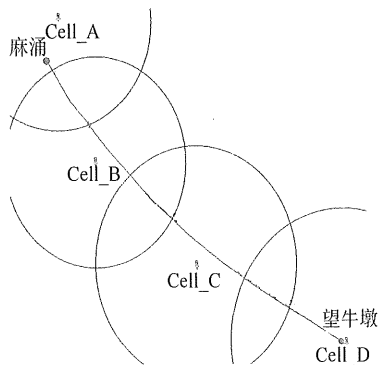


图 9 移动通信仿真平台基站覆盖区

Fig. 9 Cells on mobile communications platform

2.2 微观交通仿真平台与移动通信仿真平台的联立仿真

设定麻涌往望牛墩和望牛墩往麻涌方向行驶的机动车各 10 辆,共 20 辆车为对象,车辆在微观交通仿真平台 Paramics 中的运行具有符合交通规则的加速减速、跟驰换道等交通行为特性。通过车辆-移动台轨迹映射关系模型,令移动仿真平台中的 20 个移动台各自对应 Paramics 中一台车辆的运行轨迹。车辆与移动台映射关系及其行驶方向如表 1 所示。

表 1 车辆与移动台映射关系及其行驶方向列表

Table 1 Direction and mapping relationship between vehicles and mobile stations

车辆 ID	移动台 ID	行驶方向
V_1	MS_11	望牛墩-麻涌
.....		
V_5	MS_3	麻涌-望牛墩
V_6	MS_13	望牛墩-麻涌
V_7	MS_14	望牛墩-麻涌
.....		
V_12	MS_5	麻涌-望牛墩
.....		
V_20	MS_10	麻涌-望牛墩

按照图3所示的微观交通仿真平台车辆轨迹提取基本流程, 正常通行情况下, 在每一仿真时间间隔(本次实验设定为1s)提取车辆位置坐标, 写入数据库。通过坐标转换的车辆运行轨迹数据如表2所示, 可以得到每辆车在任意时刻的位置点经纬度坐标。

表2 微观交通仿真平台车辆运行轨迹示例列表

Table 2 Vehicle trajectory samples on microscopic traffic simulation platform

车辆 ID	仿真时间 /s	Params 直角坐标		经纬度坐标	
		Params_ X	Params_ Y	经度	纬度
V_1	219	19766417.24	-277.408936	113.5992281	23.0764197
V_1	220	19766398.41	-254.667725	113.5990481	23.07662769
V_1	221	19766379.27	-232.186035	113.5988651	23.07683269
V_1	222	19766361.52	-208.619385	113.5986961	23.07704868
.....					
V_1	225	19766309.23	-137.173584	113.5981991	23.07770166
.....					
V_7	126	19769625.46	-2924.21631	113.6300405	23.05202733
.....					
V_7	129	19769547.51	-2881.68506	113.6292885	23.05242332
.....					
V_7	132	19769469.01	-2840.22363	113.6285305	23.05281031
.....					

2.3 移动通信仿真数据生成

根据表1车辆与移动台映射关系列表, 建立移动通信仿真平台中移动台与微观交通仿真平台中车辆轨迹的映射, 移动通信仿真平台模拟移动台行驶过程中发生的各种通信事件, 生成定位与切换等移动通信仿真数据。

2.3.1 移动台定位数据 运行仿真, 可在给定时间间隔内提取移动台所属小区 Cell ID 及其经纬度坐标。每3个仿真时间间隔(即3s)读取一次数据, 所获移动台定位数据示例列表如表3所示。由于移动通信仿真平台与微观交通仿真平台的仿真步

表3 移动台定位数据示例列表

Table 3 Mobile stations location data samples

移动台 ID	仿真时间 /s	所属小区 Cell ID	移动台位置坐标	
			经度	纬度
.....				
MS_11	219	Cell_ B	113.599 24	23.076 406
MS_11	222	Cell_ A	113.598 729	23.077 007
MS_11	225	Cell_ A	113.598 231	23.077 03
.....				
MS_14	126	Cell_ D	113.6300 04	23.052 05
MS_14	129	Cell_ D	113.629 252	23.052 44
MS_14	132	Cell_ C	113.628 494	23.052 83
.....				

长存在微小差异, 因此, 移动通信仿真平台中, 在相同时刻提取的移动台位置坐标与表2中相应车辆于同一时刻提取的位置坐标经纬度略有偏差, 但不影响对移动台定位及其所属小区的判断。

2.3.2 移动台切换数据 设置个别移动台的通话状态, 运行仿真, 可获取移动台通话过程中发生切换的切换时刻、切换点坐标, 源小区 Cell ID 和目标小区 Cell ID。以移动台 MS_3 为例, 其切换数据表如表4所示。

表4 移动台 MS_3 切换数据表

Table 4 Handover data of MS_3

切换时刻 /s	源小区 Cell ID	目标小区 Cell ID	切换点坐标	
			经度	纬度
93	Cell_ A	Cell_ B	113.601 957	23.073 257
155	Cell_ B	Cell_ C	113.614 802	23.061 443
233	Cell_ C	Cell_ D	113.633 519	23.050 244

2.3.3 仿真数据无线通信特性验证 基于无线通信特性, 移动台在切换过程中会受到信号强度、信道质量、信道繁忙程度等多种因素影响, 其切换过程带有一定的随机性与变动性。即, 不同移动台在经过同一切换区域时, 各自的切换点有所不同; 同一移动台在多次经过同一切换区域时, 其切换时刻与切换点有所不同。

设置从麻涌至望牛墩方向行驶的移动台 MS_3、MS_5、MS_10 为通话状态, 移动台在行驶过程中从小区 Cell_ B 切换至小区 Cell_ C 的切换数据表如表5“第一次仿真”所示。虽然它们都发生了从源小区 Cell_ B 至目标小区 Cell_ C 的切换, 但切换点位置并不相同。

再次运行仿真, 对比移动台 MS_3、MS_5、MS_10 两次经过同一切换区域的切换数据情况, 如表5所示。

由表5可知, 同一个移动台两次经过同一切换区域的切换时刻与切换点有所不同。由此可见, 系统生成的移动通信仿真数据具有无线通信固有的随机性与变动性。

3 结论与展望

实验表明, 将微观交通仿真平台与移动通信仿真平台进行有机结合, 通过数据交互与联立仿真构建的基于移动通信数据的交通信息仿真系统, 能够有效模拟车载移动台在路网中运行的交通特性与无线通信特性, 产生车辆运行过程中各车载移动台的

表 5 两次仿真移动台由 Cell_ B 至 Cell_ C 切换数据对比表

Table 5 Comparison of handover data from Cell_ B to Cell_ C between two simulations

移动台 ID	源小区 Cell ID	目标小区 Cell ID	第一次仿真			第二次仿真		
			切换时刻		切换点坐标	切换时刻		切换点坐标
			/s	经度	纬度	/s	经度	纬度
MS_ 3	Cell_ B	Cell_ C	156	113. 614 802	23. 061 443	158	113. 615 357	23. 061 019
MS_ 5	Cell_ B	Cell_ C	246	113. 614 806	23. 0614 64	252	113. 616 076	23. 060 519
MS_ 10	Cell_ B	Cell_ C	354	113. 614 992	23. 061 270	351	113. 614 245	23. 061 857

位置坐标、所属小区、切换时刻、切换点坐标以及相应小区序列等通信数据。所生成的仿真数据兼具交通特性与无线通信特性,符合实际规律,可为基于移动台定位与移动台切换信息的交通信息提取提供研究数据,具有较高的推广和研究价值。

由于实际中移动台定位的误差在 50 ~ 150 m 左右,而由 Paramics 仿真直接获取的移动台定位点精度较高,因此,下一步可以降低由仿真获得的定位点精度,使其更接近实际移动台定位的低精度定位数据。

另一方面,现实交通状态包括正常顺畅状态与拥堵缓行等事件状态,因此,可进一步模拟仿真车载移动台在各种交通状态下的行驶与通信行为过程,为基于移动通信数据的事件检测研究提供数据。

通过对移动台连续两次切换或连续两次定位产生通信数据的处理与估算,即可得到其通过该路段的行程时间与行程速度,并能够进一步估算整个路段的交通参数以及判断该路段的交通状况。此外,通过分析路段中发生切换、通话、收发短信等通信行为的数量随时间变化的情况,也可建立相应模型对该路段交通事件进行检测。

参考文献:

- [1] 杨飞,裴炜毅. 基于手机定位的实时交通数据采集技术[J]. 城市交通,2005,3(4):63-68.
YANG Fei, QIU Weiyi. Mobile phone location based real time traffic data collection research[J]. Urban Transport of China, 2005,3(4):63-68.
- [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] 张威. GSM 网络优化原理与工程[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
- [4] ASAKURA Y, HATO E. Tracking survey for individual travel behaviour using mobile communication instruments[J]. Transportation Research Part C, 2004, 12: 273-291.
- [5] University of Maryland Transportation Studies Center (UMD). Final evaluation report for the CAPITAL-ITS operational test and demonstration program [R]. Maryland: University of Maryland, 1996.
- [6] Battelle Memorial Institute. Assessment of automated data collection technologies for calculation of commercial motor vehicle border crossing travel time delay[R]. Columbus: Battelle Memorial Institute, 2002.
- [7] YIM Y B, CAYFORD R. Investigation of vehicles as probes using global positioning system and cellular phone tracking: field operational test [R]. Berkeley: University of California, 2001.
- [8] YGNACE J L, DRANCE C, YIM Y B, et al. Travel time estimation on the San Francisco Bay area network using cellular phones as probes. [R]. Berkeley: University of California, 2003.
- [9] YIM Y. B. The State of Cellular Probes [R]. Berkeley: University of California, 2003.
- [10] YGANACE J. L., DRANCE C. Cellular telecommunication and transportation convergence: a case study of a research conducted in California and in France on cellular position techniques and transportation issues [C]. Oakland: 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, 2001: 16-22.
- [11] SMITH B L, ZHANG Han, Fontaine M D, et al. Wireless location technology-based traffic monitoring critical assessment and evaluation of an early-generation system [J]. Journal of Transportation Engineering, 2004, 130: 576-584.
- [12] Quadstone. Paramics 4.2 User Manual [M]. Scotland: Quadstone Ltd, Edinburgh, 2003.
- [13] 何兆成, 余志. Paramics 与外部程序间数据通讯机制的研究与实现 [J]. 交通与计算机, 2005, 1(23): 43-46.
HE Zhaocheng, YU Zhi. Research on communication mechanism between paramics and outer programs [J], Computer and Communications, 2005, 1(23): 43-46.