

基于通信仿真的手机切换扰动对车速误差影响

杨 飞¹, 夏 军¹, 崔亚平²

(1. 西南交通大学 交通运输与物流学院, 四川 成都 610031; 2. 西南交通大学 信息科学与技术学院, 四川 成都 610031)

摘要: 根据真实移动通信环境特征配置仿真参数, 建立试验场景, 运用 Matlab 软件实现仿真, 将移动通信仿真手段交叉应用于分析交通行程车速采集误差问题. 进行切换路段仿真, 对试验道路进行切换标定, 反复多次试验拟合发现各切换位置扰动服从正态分布规律, 由此确定平均切换位置和切换路段长度; 进行通信网络仿真, 获取手机切换样本数据, 利用样本切换时间差和切换路段长度, 计算得到切换路段行程车速, 将其与仿真试验设定的真实车速进行误差精度分析, 从定量角度研究不同基站布局类型和切换控制准则 2 种主要影响切换扰动的因素对采样车速误差的影响.

关键词: 手机; 切换扰动; 行程车速; 移动通信仿真; 采样误差

中图分类号: U 491.1

文献标识码: A

Mobile Communication Simulation Experiments on Influence of Mobile Phone Handover Fluctuation on Link Travel Speed Error

YANG Fei¹, XIA Jun¹, CUI Yaping²

(1. School of Traffic and Transportation, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China; 2. School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: The mobile communication simulation experiment scenario is built and the simulation parameters are configured according to the real circumstance. The simulation tool, Matlab, is applied to analyzing the link travel speed error. First, the handover link is calibrated by handover test simulation to specify the average handover location and the handover link length. The experiment result shows the handover fluctuation complies with the normal distribution. Second, the handover sample data with handover cell sequence and time stamp is acquired by mobile communication network simulation. Thus, the handover link travel speed is calculated by means of the calibrated handover link length

and time difference of the sample. Third, the speed error is obtained from the calculated link travel speed and the readily configured mobile phone speed. The influence of handover fluctuation on collected sample speed error is studied in terms of cell type and handover control rules.

Key words: mobile phone; handover fluctuation; link travel speed; mobile communication simulation; sample error

基于手机切换信息的交通数据采集技术核心思想是利用车载手机的连续切换变化信息获取交通数据, 探测交通运行状态, 尽管该项技术已经有一些实际运行系统, 例如英国 ITIS 公司^[1]、美国 Airsage 公司^[2], 但在学术研究领域针对相关理论问题的研究还较少. 该项技术属于移动通信领域中切换控制理论与交通工程领域中数据采集应用的交叉研究问题, 两者的关注重点有所不同, 切换控制理论的已有研究大多集中在确保通话连续性、降低掉话率^[3]等方面, 而对切换位置扰动的规律特性缺乏更深入的定量分析. 但将手机切换应用于交通数据采集, 切换位置扰动对采样行程车速的误差有明显影响, 这直接关系到采样车速的精度, 但目前对这个问题交叉点的相关研究还不多. 本文以通信仿真试验为研究手段, 建立试验场景, 通过拟合切换位置扰动仿真试验结果定量分析扰动规律, 计算切换路段行程车速与仿真设定的真实车速进行误差分析, 定量判定切换扰动对采样车速误差的影响程度.

1 利用手机切换定位的行程车速采样技术原理

切换是指当前正在通话的手机由于当前基站接

收稿日期: 2010-07-03

基金项目: 国家自然科学基金(50908195); 高等学校博士学科点专项科研基金(20090184120012); 中央高校基本科研业务费专项资金(SWJTU11CX080)

第一作者: 杨 飞(1980—), 男, 副教授, 工学博士, 主要研究方向为城市交通规划及智能交通技术与应用. E-mail: yangfeitraffic@gmail.com

收的信号强度逐渐下降而将手机移动台与基站之间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^[4]. 利用手机切换定位进行行程车速采集的技术实现步骤主要包含切换路网标定和移动通信网络切换数据获取 2 个环节. 切换路网标定是指通过移动网络路测设备(切换监测软件和全球定位系统接收器)记录道路沿途的切换位置坐标和切换序列标识,将道路划分为若干切换路段,其实测数据样例如表 1 所示. 切换路网标定类似于在道路上安装“虚拟路标”,每当车载手机在路标处发生切换就会报告给移动通信网络,从其“A”通信接口处解析移动信令,则可以获取该手机发生切换的基站小区序列标识和相应的切换时刻,但无法获取切换的位置坐标,其数据样例如表 2 所示,其中手机编号出于保护隐私的目的进行加密处理成一组字母代码. 利用切换路网标定得到的切换路段长度和移动通信网络获取到的对应切换时间差,即可计算出该手机样本的采样行程车速.

表 1 切换路网标定中移动通信路测数据样例
Tab.1 Mobile communication data examples of handover link calibration

时刻	经度/(°)	纬度/(°)	基站编号
09:47:26	121.453 350	31.225 867	41 771
09:47:51	121.450 083	31.225 700	41 781

表 2 移动通信网络中 7 号信令解析得到的切换数据样例
Tab.2 The data examples from SS7 in mobile communication network

手机编号	基站编号	时刻
wegrwer34	5203	06:42:54
wert,hjh234	7043	06:42:54

2 切换扰动及其对采样行程车速误差的影响机理

判断切换的指标是手机移动台接收到的基站信号强度指标,当新基站的信号强度优于当前基站则会触发切换. 由于受到外界环境影响和通信网络参数的不同,切换位置呈现在一定范围内波动的特征. 其原因主要有:①外界环境因素,即由于多径效应、阴影效应影响引起手机信号强度的波动^[5],如图 1 所示,城市中心区由于高楼密集、信号传输的折射反

射较多,多径效应引起的波动较城市郊区强烈;②移动通信网络设计参数方面,例如不同切换判定准则和基站小区半径对切换扰动有直接影响.

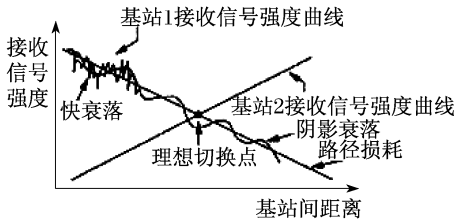


图 1 多径效应、阴影效应和路径损耗对切换位置扰动的影响
Fig.1 The impact of multipath effect,shadow effect and path loss on the handover location fluctuation

根据切换控制理论,典型切换准则有 2 种^[6]:①相对信号强度准则,即在任何时间都选择具有最强接收信号的基站,这种准则的缺点是在原基站的信号强度仍满足要求的情况下,会引发较多不必要的越区切换,切换位置为图 2 中的 A 点;②具有滞后余量的相对信号强度准则,即仅允许移动用户在新基站的信号强度比原基站信号强度高很多的情况下越区切换,即大于滞后余量(图 2 中用 h 表示),该准则可以有效防止由于信号波动引起的手机移动台在 2 个基站之间不必要的来回重复切换,如“乒乓切换”,切换位置如图 2 中的 C 点.

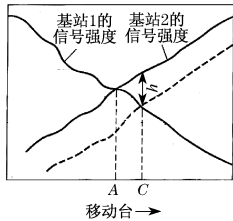


图 2 不同切换准则下的切换位置变化^[6]
Fig.2 Handover location variation under different control rules

切换扰动对行程车速采样带来误差,如图 3 所示,位置 C 和 D 为通过实地切换测试标定的切换位置,这是通过多次路侧得到的平均位置, L_{CD} 为标定的切换路段长度. 在通过通信网络获取手机样本数据时,在时刻 t_A 和 t_B 实际发生切换的真实位置分别为 A 和 B, Δt_h 为手机样本切换时间差,这两处切换的误差分别为 E_A 和 E_B ,定义与手机移动方向一致的偏移为正向,反之为负,则切换路段长度 L_{CD} 与手机样本的真实切换长度 L_{AB} 之间的误差 λ 为 $|E_A - E_B|$,相应的采样车速误差 θ 为

$$\theta = \frac{\lambda}{\Delta t_h} = \frac{|E_A - E_B|}{|t_B - t_A|} \quad (1)$$

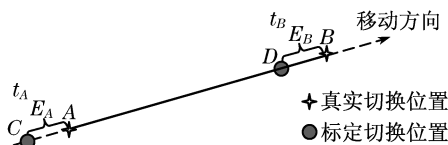


图 3 切换道路标定位置与真实切换发生位置的误差关系

Fig.3 Error relationship between the calibrated and real handover location

3 通信仿真试验思路和车速误差分析方法

3.1 试验目的

实际中移动通信切换路测工作费时长且成本较高,难以完全依赖这样的切换数据获取方式开展研究.通过通信仿真手段可以反复进行多次试验,弥补路测方式的不足,还能够定量分析影响切换扰动的因素对行程车速的误差影响.本文重点针对通信基站类型和切换准则影响切换扰动的因素进行通信仿真研究,这 2 种因素属于通信网络设计参数,相对于外界环境因素便于控制.

3.2 通信仿真试验思路与车速误差分析方法

通信仿真试验思路如图 4 所示,主要包括 2 个试验模块,即通信仿真试验数据获取模块和仿真试验结果误差分析模块.具体步骤为:①按照实际环境特征配置移动通信参数,建立仿真试验场景;②运用 Matlab 软件实现切换路测仿真过程,设定车载手机沿道路行驶,记录沿途发生切换位置的坐标,这与实际移动通信切换路测过程类似,反复进行多次试验拟合切换位置的概率分布函数,计算各个平均切换

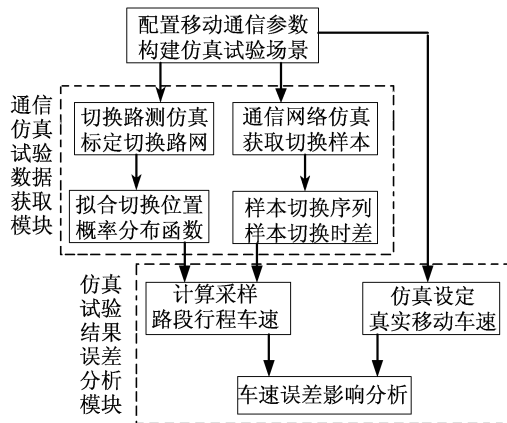


图 4 切换扰动对采样车速误差影响的通信仿真试验思路

Fig.4 Mobile communication simulation experiment of influence of handover fluctuation on link travel speed error

位置坐标和连续切换位置间的切换路段长度;③运用 Matlab 软件进行通信网络仿真过程获取手机切换样本数据,包括切换小区序列和相应的切换时刻,仿真实现方式为车载手机用户沿仿真道路匀速移动时,连续记录一定采样间隔下的信号强度,结合切换准则判定是否切换;④利用通信网络仿真得到的手机样本切换时间差和切换路测仿真得到的切换路段长度计算得到切换路段采样行程车速;⑤反复进行多次试验得到多组切换路段行程车速,与仿真场景事先设定的已知真实移动车速进行对比,计算车速误差并进行统计分析处理,判定误差分布特征.

4 通信仿真场景参数说明与仿真试验结果

4.1 通信仿真场景参数说明

通信仿真基站小区拓扑如图 5 所示,直线部分为道路,3 个通信基站小区由左至右编号分别记为 1,2,3,设定车载手机匀速从基站 1 的中心位置运动到基站 3 的中心位置,记录每个采样点位置的服务基站编号,根据其信号强度指标切换准则判断是否发生切换,进行 500 次重复试验.通信小区所使用的频率复用因子为 1/3(小区簇的大小为 3),各个小区的基站位于正六边形的中心位置,基站和用户均使用单发单收全向天线进行通信.设置 2 种基站类型,宏基站、微基站,用以分析在宏基站为主的城市郊区 and 微基站较多的城市中心区环境中仿真对比分析.基站、用户间传输信号的衰落主要由 3 部分组成,即路径损耗、快衰落、慢衰落.快衰落主要是指多径传播引起的衰落,一般认为可以在对信号进行平均时消除掉^[7],因此,在仿真中只考虑路径损耗和阴影衰落的影响.

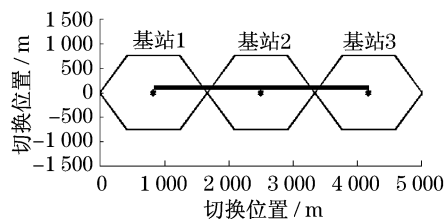


图 5 通信仿真基站小区拓扑结构

Fig.5 Simulation network topological structure and cell number

通信仿真中所用到的主要系统参数如表 3 所示^[8].

表 3 移动通信仿真相关参数设置情况
Tab.3 Configuration of wireless communication
simulation parameters value

参数	取值
带宽/MHz	10
宏基站间距/km	1.5
宏基站发射功率/dB	13
微基站间距/km	0.5
微基站发射功率/dB	3
路径损耗	$130.19 + 37.6 \lg R^{1)}$
对数阴影衰落标准差/dB	8
热噪声/(dB · Hz ⁻¹)	-204
各小区子信道数	30
用户噪声系数/dB	7
天线类型	全向天线
滞后余量/dB	4
基站电缆损耗/dB	2
速度/(km · h ⁻¹)	宏基站,60 km · h ⁻¹ ; 微基站,30 km · h ⁻¹

1) R 为基站与移动台间距,km.

4.2 试验结果

4.2.1 宏基站布局下仿真试验结果

在宏基站布局下,设定手机用户以 $60 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 匀速行驶.图 6 为 2 种不同切换准则下切换位置的概率分布图,通过拟合发现其服从正态分布,2 种切换准则对应的切换位置期望、方差有所不同.在对数据进行处理时,由于道路为平行于 x 轴的直线道路,因此 y 轴方向不用考虑,只考虑 x 轴方向上切换位置的分布情况.在相对信号强度准则下,用户 x 轴方向上分布为 $X \sim N(172.54, 242.197 \text{ }^2)$,具有滞后余量的相对信号强度准则下的切换位置概率分布函数为 $X \sim N(1\,738.5, 197.490 \text{ }^2)$.

根据切换位置拟合分布结果确定平均切换路段长度 L_a ,其为连续 2 次切换平均位置间的距离;设定采样手机以速度 V 沿测试道路匀速行驶,反复进行 500 次通信网络仿真试验获取采样样本集合,记录各次仿真过程中手机样本切换时间戳 t_{ni}, t_{nj} ,仿真行程车速计算方法为

$$V_n = \frac{L_a}{\Delta t_n} = \frac{|E(N_j) - E(N_i)|}{t_{nj} - t_{ni}} \quad (2)$$

式中: V_n 为仿真试验计算行程车速; n 为试验次数, $n = 1, 2, \dots, 500$; $E(N_j), E(N_i)$ 分别为第 j 次和第 i 次手机切换的平均位置; t_{nj}, t_{ni} 分别为第 j 次和第 i 次手机切换的时间戳; L_a 为平均切换路段长度; Δt_n 为手机采样样本连续 2 次切换时间差.

宏基站情况下不同切换准则通信仿真试验的切换路段行程车速计算结果如图 7 所示.

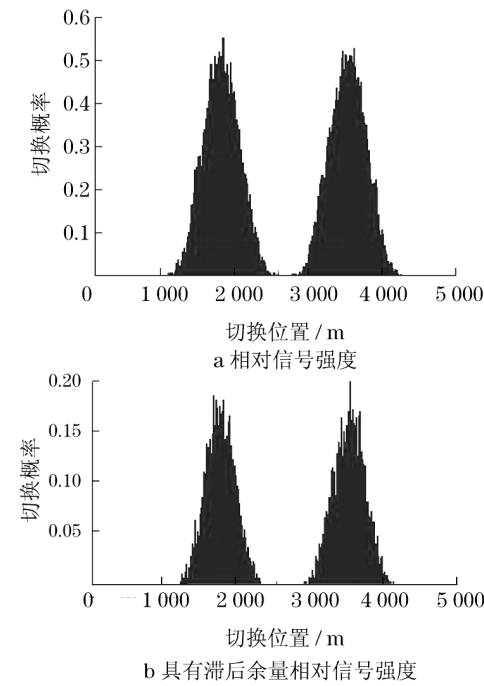


图 6 宏基站通信仿真中 2 种切换准则下切换位置概率分布
Fig.6 The handover probability under two kinds of control rules in Macro-cell simulation

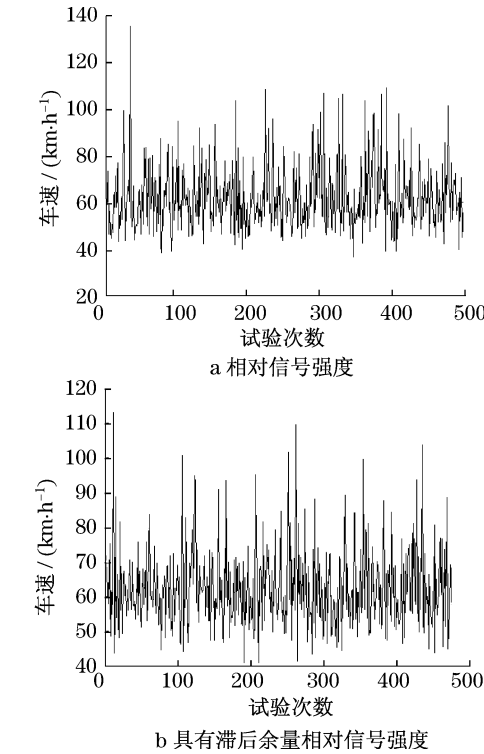


图 7 宏基站通信仿真中两种切换准则下的切换路段行程车速采样结果
Fig.7 The handover link travel speed under two kinds of control rules in Macro-cell simulation

4.2.2 微基站布局下仿真试验结果

在微基站布局下,设定手机用户以 $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

匀速行驶,其仿真结果与宏基站情况相似.图 8 为 2 种不同切换准则下切换位置的概率分布图.相对信号强度切换准则下,用户 x 轴方向切换位置概率分布为 $X \sim N(578.916\ 1, 97.58^2)$,具有滞后余量的相对信号强度切换准则下切换位置概率分布为 $X \sim N$

(586.072 3, 78.562 3²).

同理,根据式(2)的计算方法,微基站情况下不同切换准则通信仿真试验的切换路段行程车速计算结果如图 9 所示.

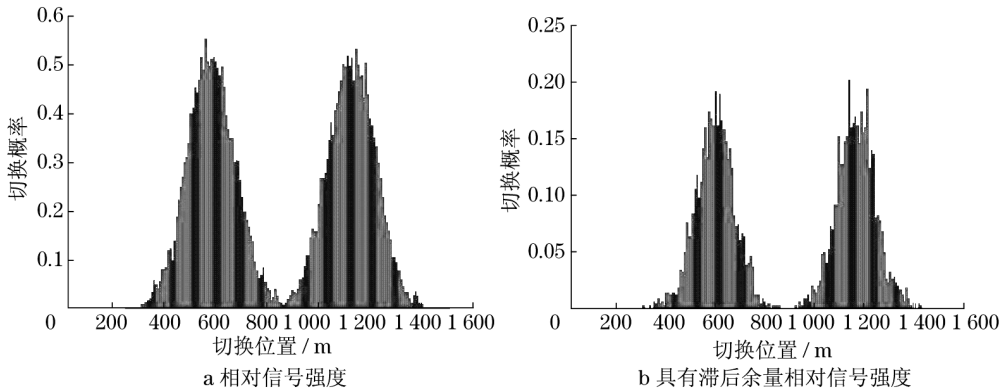


图 8 微基站通信仿真中 2 种切换准则下切换位置概率分布

Fig.8 The handover probability under two kinds of control rules in Micro-cell

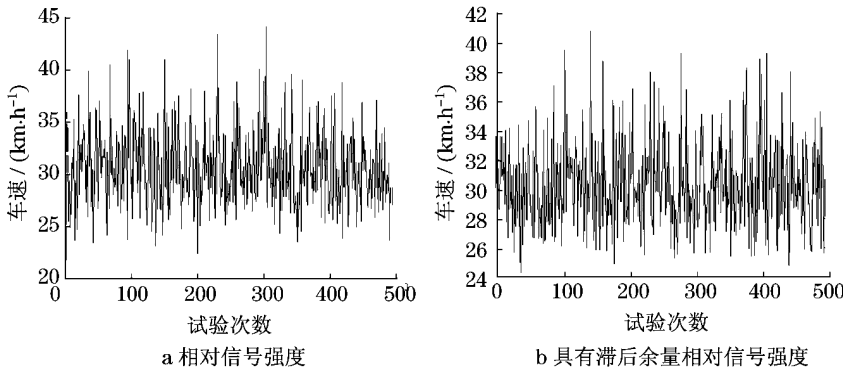


图 9 微基站通信仿真中两种切换准则下的切换路段行程车速采样结果

Fig.9 The handover link travel speed under two kinds of control rules in Micro-cell simulation

4. 2. 3 采样车速采样误差特征分析

宏基站、微基站情况下 2 种不同准则的行程车速误差仿真试验结果分别如图 10 和 11 所示,采用相对误差指标进行定量分析.

根据车速误差通信仿真结果,各种情况下车速误差精度指标总结见表 4.从表 4 可以看出:①总体上,切换扰动对采样车速误差的影响控制在 20%以内的概率能够达到 0.7 以上,最高可以达到 0.95,这在交通数据采集上属于可接受的范围内.②若采用相同切换控制准则,移动通信小区采用微基站布局下的误差精度优于宏基站,例如按照具有滞后余量的相对信号强度切换控制准则,微基站布局下手机仿真样本误差能够在 5%精度范围内的概率为 0.412,而宏基站仅为 0.272,较微基站低0.112.这是由于宏基站小区覆盖半径较大,通常在 1 km 以上,

切换位置波动范围较大,因此,切换扰动对车速误差的影响程度较高,而微基站的覆盖半径一般在 300~500 m,其影响程度较小.这也表明在城市郊区宏基站布局较多的移动通信环境中,切换扰动对利用手机切换定位得到的采样车速误差影响较大,对城市

表 4 不同通信仿真情境下相对误差精度
小于特定标准的概率

Tab.4 Probability of speed accuracy which is lower than the specified standard under different mobilecom munication simulation scenarios

误差精度/%	宏基站通信仿真情景		微基站通信仿真情景	
	相对信号强度准则	具有滞后余量相对信号强度准则	相对信号强度准则	具有滞后余量相对信号强度准则
5	0.214	0.272	0.326	0.412
10	0.406	0.466	0.612	0.710
15	0.578	0.642	0.812	0.894
20	0.704	0.788	0.900	0.950

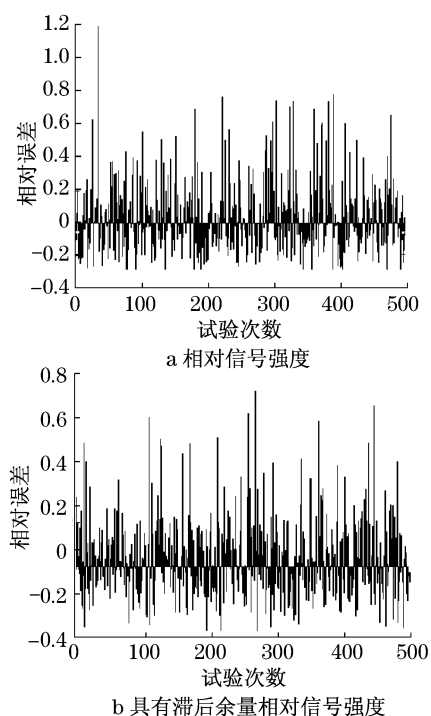


图10 宏基站通信仿真2种切换准则下的车速误差结果

Fig.10 The relative error under two kinds of control rules in Macro-cell

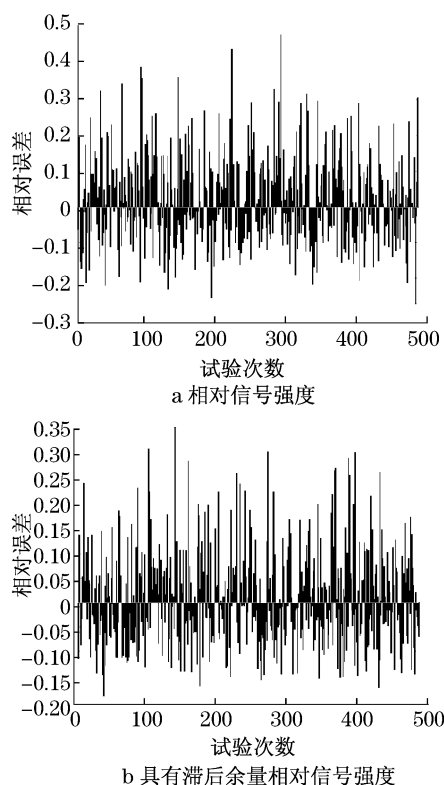


图11 微基站通信仿真两种切换准则下的车速误差结果

Fig.11 The relative error under two kinds of control rules in Micro-cell simulation

中心区影响相对较小. ③对于相同基站类型, 具有滞后余量的相对信号切换控制准则对车速误差影响较小, 最佳结果是在微基站布局下采样样本的误差精度控制在20%内的概率为0.95, 这表明对于采用具有滞后余量的相对信号切换控制准则设计的移动通信网络, 手机切换采样车速与真实车速的误差较小, 采样数据质量精度较高.

5 结论

本文运用Matlab软件工具实现移动通信仿真, 考虑基站布局类型和切换控制准则2项因素, 通过仿真试验分析手机切换扰动对采样车速的误差影响. 试验结果显示, 微基站布局下切换扰动对采样车速误差的影响比宏基站小, 采用相同的切换准则和相同的误差精度标准情况下, 微基站仿真误差概率结果较宏基站高出0.11~0.20. 这也表明, 在微基站布局较多的城市郊区移动通信环境中, 切换扰动对利用手机切换定位技术得到的采样车速误差影响较小. 对于相同基站类型, 采用具有滞后余量的相对信号切换控制准则对采样车速误差的影响较小, 获取的采样车速数据精度较高. 最好的结果是采样样本误差控制在20%以内的概率达到0.95.

参考文献:

- [1] Feldman I, Trinker A, Meltzer Y, et al. Method and system for modeling and processing vehicular traffic data and information and applying thereof. The United States, 6587781B2[P]. 2003-07-01.
- [2] Cyrus W Smith, Clayton Wilkinson, Kirk Carlson, et al. System and method for providing traffic information using operational data of a wireless network. The united states, 6842620B2[P]. 2005-01-11.
- [3] Senadji, Tabbane, Boashash. A handover decision procedure based on the minimization of bayes criterion [C] // Vehicular Technology Conference. Stockholm: IEEE, 1994: 77-81.
- [4] Chia S T S. The control of handover initiation in microcells [C] // Vehicular Technology Conference. St Louis: IEEE, 1991: 531-536.
- [5] Zhang N, Holtzman J M. Analysis of handoff algorithms using both absolute and relative measurements [C] // Vehicular Technology Conference. Stockholm: IEEE, 1994: 82-86.
- [6] 韦惠民, 李国民, 暴宇. 移动通信技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
- [7] WEI Huimin, LI Guomin, BAO Yu. Mobile communication technology[M]. Beijing: Post and Telecom Press, 2006.
- [8] Murase A, Symington I, Green E. Handover criterion for macro and microcellular systems [C] // Vehicular Technology Conference. St Louis: IEEE, 1991: 524-530.
- [9] Srinivasan R, Zhuang J, Jalloul L, et al. 16 m evaluation methodology document (EMD) [R]. [S.l.]: IEEE, 2008.