

蜂窝网中基于位置预测的切换算法

王梦冉 乔少杰 于珊珊

(西南交通大学信息科学与技术学院 成都 610031)

摘要 为了满足未来移动网络蜂窝小、切换频繁、支持规模用户和多媒体应用的需求,对位置预测与越区切换进行深入分析,提出了基于位置预测的越区切换方案 HDLP(Handover Decision based on Location Prediction),其基本思想是:(1)从移动用户的大量历史移动轨迹数据中挖掘频繁轨迹;(2)根据挖掘出的频繁轨迹集合生成运动规则;(3)将运动规则运用于判决蜂窝移动通信的越区切换中。对所提算法进行仿真的结果表明,与传统的切换方案相比较,本算法减少了不必要的越区切换次数,降低了错误切换率,提高了切换的准确率,进而在一定程度上降低了通信代价,提高了通信系统的容量以及 QoS。

关键词 位置预测,越区切换,频繁轨迹,运动规则

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A

Handover Algorithm Based on Location Prediction in Cellular Network

WANG Meng-ran QIAO Shao-jie YU Shan-shan

(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract In order to meet the future mobile cellular network whose cellular is small, handover is frequent and support a large number of users and the demand of the multimedia applications, this article proposed a new prediction-based handover scheme on the basis of analyzing the position prediction and handover schemes. The basic idea is: (1) Mining frequent trajectories from a large number of history trajectories of mobile users; (2) Generating movement rules from frequent trajectories; (3) Applying these movement rules to decide whether to handoff the process of communication to another station or not. We used the simulation software to simulate the mentioned scheme and compared it with the traditional handover scheme, the mentioned scheme reduces the unnecessary handover times and error rate and improves accuracy handover rate. To a certain extent, the mentioned scheme reduces the communication cost and improves the capacity of communication system and QoS.

Keywords Location prediction, Handover, Frequent trajectory, Movement rules

在移动环境中,为了实现自由、不间断的通信,用户需要及时更新接入点的信息,如果采取传统的切换(后验方式)方式,则会带来两方面的影响:1)从用户的角度:由于切换需要一系列的信令交互,在切换过程中将产生时间延迟,这对于语音通信(对时延和抖动较为敏感的业务)等影响很大,会导致用户满意度急剧下降;2)从网络的角度:用户切换到新的接入点继续通信过程,新的接入点在后验的情况下,很可能由于网络繁忙而拒绝新用户的接入^[1,2]。而如果能够提前预测到移动用户未来的运动,就可以利用它来解决切换过程中面临的上述问题,但是由于移动用户的运动行为往往是随机的,其未来的运动轨迹难以准确预测。在上述情况下,如何准确地预测移动用户的移动行为,利用预测结果判断是否需要越区切换,成为蜂窝移动通信系统中的一个研究热点。

本文研究系学科交叉,借助数据挖掘技术解决通信领域的蜂窝移动通信系统中基于位置预测的越区切换预测问题。

针对这一问题展开分析和研究,在对位置预测和越区切换进行深入分析的基础上提出了一种新的思想:(1)从大量移动用户的历史轨迹数据中挖掘频繁轨迹;(2)根据挖掘出的频繁轨迹集合生成运动规则;(3)由运动规则判断处于蜂窝中的移动用户是否需要越区切换。

如何利用有效的预测技术来预测移动用户将来的运动信息,提前为通信切换做好准备,从而减少不必要的越区切换次数、提高通信系统的整体质量是本文要研究的主要问题。

1 相关工作

随着蜂窝移动通信技术的发展,在频谱资源有限的情况下,人们对蜂窝移动通信系统的覆盖范围、系统容量以及所提供的服务质量提出了更高的要求,分层蜂窝移动通信系统结构就是为了解决这些问题而提出的^[3]。在分层蜂窝移动通信系统中分布着微小区层与宏小区层,根据系统业务量的变化,

本文受国家自然科学基金项目(61100045, 61165013),高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(20110184120008),中国博士后科学基金特别资助项目(20090461346),教育部人文社会科学研究青年基金项目(14YJCZH046),中央高校基本科研业务费专项资金项目(2682013BR023)资助。

王梦冉(1988—),女,硕士生,主要研究方向为移动通信、基于位置服务;乔少杰(1981—),男,博士后,副教授,CCF 会员,主要研究方向为移动对象数据库、移动计算, E-mail: sjqiao@swjtu.edu.cn(通信作者);于珊珊(1988—),女,硕士生,主要研究方向为移动通信技术。

移动用户的通话业务可以在微小区层和宏小区层之间切换^[4]。蜂窝数量的增加以及覆盖半径的减小,使得面临切换的用户数量增加以及在通话过程中切换得更加频繁,因此在蜂窝移动通信系统中的切换问题越来越受到重视^[5]。

针对上述问题,国内外学者做了很多研究。文献[6]提出了一种通过预测越区切换的通话业务对信道资源的需求量来决定预约信道数量的方案。该策略中预约信道的数量会随着系统业务量的变化而自适应地变化,但是该方案造成资源的浪费,导致网络资源利用率下降。文献[7]提出了一种语音业务可强占数据业务的切换方案,缺点是该策略没有区分对待新近产生的语音呼叫与具有越区切换请求的语音呼叫,导致通话被强制性中断的概率较高,降低了用户的满意度。文献[8]提出了改进的基于策略的管理框架,并根据网络状态的变化,采用策略来实现信道资源的分配和调整,缺点是对业务需求较高,使得管理的抽象性增加。文献[9]提出了一种基于业务 QoS 保证的切换控制策略,其大大降低了语音切换和数据切换的掉线概率,但是使用了信道侵占技术,实时业务切换呼叫可以侵占数据业务正在使用的信道资源。文献[10]在对无线校园网络用户移动数据进行分析的基础上,提出了利用 k 阶 Markov 预测器来判断是否需要越区切换。其缺点是策略存在一个状态空间膨胀的问题,即其状态空间随着经历的不同接入点数目的增加而呈现指数级增长。文献[11]提出了一种基于挖掘算法的越区切换方案,代表了该方向的最新研究成果,缺点是当移动对象的历史轨迹较多时,挖掘频繁轨迹所需时间较长,时间延迟导致越区切换的准确率下降。

本文在研究相关算法的基础上,通过分析比较上述各种方案发现其各自存在优缺点,再结合现有高效、准确的位置预测技术提出了蜂窝移动通信系统中基于位置预测的越区切换方案。

为了便于理解,给出文中相关术语的定义^[12,13],具体如下。

定义 1(轨迹的连接) 对于长度相同的两条非单位轨迹(轨迹长度大于 1) a_i 和 b_i , $a_i = \langle T_1^i, T_2^i, \dots, T_k^i \rangle$, $b_i = \langle T_1^i, T_2^i, \dots, T_k^i \rangle$, 如果 a_i 的后 $k-1$ 项和 b_i 的前 $k-1$ 项完全相同,即序列满足 $\langle T_2^i, T_3^i, \dots, T_k^i \rangle = \langle T_1^i, T_2^i, \dots, T_{k-1}^i \rangle$, 则 a_i 和 b_i 是可连接的,对其进行连接操作,就是将 a_i 的第一项和 b_i 的最后一项分别加到它们相等序列部分的首部和尾部,将 a_i 和 b_i 的连接记作 $a_i || b_i$, 则 $a_i || b_i = \langle T_1^i, T_2^i, \dots, T_k^i, T_k^i \rangle$ 。

定义 2(运动规则) 对于一条长度为 k 的频繁轨迹 t_i , 可以将其分裂为 $k-1$ 个轨迹对 (t_i^1, t_i^2) 。对于每一对 (t_i^1, t_i^2) , 如果 $Conf(t_i^1 \Rightarrow t_i^2) \geq MinConf$, 其中 $MinConf$ 是最小置信度阈值, 那么 $t_i^1 \Rightarrow t_i^2$ 就是一条运动规则。假设有一条运动规则的形式如 $t_i \Rightarrow t_j$, 那么 t_i 和 t_j 分别叫做运动规则的前项和后项, 所有运动规则的集合叫做运动规则集, 记作 $MoveRules$ 。

定义 3(越区切换) 当移动用户从一个小区(基站或者基站的覆盖范围)移动到另一个小区时, 为了保持移动用户的连续通信需要进行的信道切换称为越区切换。

2 基于预测的越区切换算法

2.1 算法基本思想

为了使本文所提出的算法便于理解, 下面具体说明该方

案的思想与算法流程。

表 1 为某移动对象轨迹数据, 设定最小支持度阈值 $MinSup = 1/3$, 最小置信度阈值 $MinConf = 7/12$, 频繁轨迹挖掘过程如图 1 所示。首先扫描移动对象轨迹数据库, 找出单位频繁轨迹并计算其支持度, 由支持度阈值得到单位频繁轨迹集 f_1 ; 然后挖掘频繁二项集 C_2 , 删除不满足支持度阈值要求的轨迹后得到频繁二项轨迹集 f_2 ; 由 f_2 进行轨迹的连接操作, 根据支持度阈值进行筛选后得到频繁三项轨迹集 f_3 , 至此频繁轨迹的挖掘结束。由定义 2 以及置信度阈值可生成运动规则 $MoveRules$, 记录其对应的前项和后项以便于后续判断是否进行越区切换。

表 1 移动对象轨迹实例

轨迹 ID	用户轨迹数据
1	$\langle T1, T2, T3, T6, T9 \rangle$
2	$\langle T2, T5, T6 \rangle$
3	$\langle T1, T2, T5, T6, T9 \rangle$
4	$\langle T1, T4, T5, T6, T9 \rangle$
5	$\langle T5, T6, T9 \rangle$
6	$\langle T1, T2, T3 \rangle$

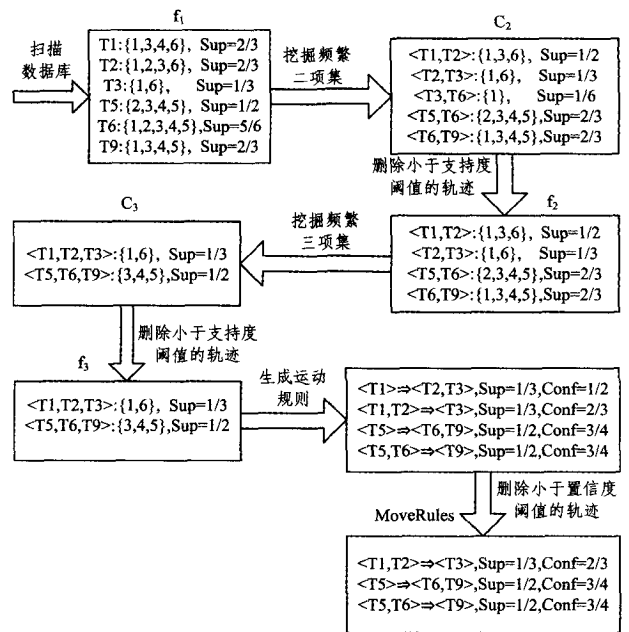


图 1 频繁轨迹挖掘与运动规则生成实例流程图

生成运动规则 $MoveRules$ (前项 $M_j \Rightarrow$ 后项 M_i) 后, 频繁轨迹的预测已完成, 将此规则用于下一步的实时切换判断, 通过运动规则匹配来预测移动对象的位置。过程如下:

Step1 对于一个确定的移动对象, 输入其最近的一段运动轨迹 W_n ;

Step2 在保存的运动规则 $MoveRules$ 的前项 M_h 中查找满足如下条件之一的轨迹:

- 1) W_n 与 $MoveRules$ 的前项 M_h 完全相同;
- 2) W_n 是 $MoveRules$ 的前项 M_h 的子集, 且两者所包含的轨迹段的最后一项相同;
- 3) $MoveRules$ 的前项 M_h 是 W_n 的子集, 且两者所包含的轨迹段的最后一项相同;

Step3 若满足上一步中的任一条件, 则能够预测到该移动对象未来的位置, 这里有两种情况:

- 1) 与 W_n 相匹配的前项 M_h 所对应的后项 M_i 只有一条,

那么可以预测移动对象未来一段时间内将沿着对应后项 M_i 移动,根据蜂窝网的覆盖范围和相关阈值条件可以判断是否需要进行越区切换;

2)与 W_n 相匹配的前项 M_n 所对应的后项 M_i 有多条,即未来一段时间内移动用户的轨迹不确定,此情况要根据移动用户沿着不同轨迹移动的支持度与置信度之和以及蜂窝网的覆盖情况来确定是否需要进行越区切换。

Step4 如果 W_n 不满足 Step2 条件中的任何一种,那么返回预测失败信息。

为了更准确地进行位置预测,将相关区域划分为正方形的网格形状,如图 2 所示,圆形阴影部分为蜂窝的覆盖范围,假设为了避免乒乓移交,规定移动用户在蜂窝内连续停留的最少格数为 $n=2$,移动用户的速度变化较为平缓,某对象移动一段轨迹之后会选择 4 条可能的轨迹:1、2、3、4;其对应的运动规则的前项和后项如表 2 所列,由 n 的值以及蜂窝覆盖范围可知轨迹 1 和 4 无需切换,轨迹 2 和 3 需要切换,因而需要计算轨迹 1、4 与 2、3 的 $Sup+Conf$ 的值,由于 $Sup+Conf_{(1,4)} < Sup+Conf_{(2,3)}$,因此该用户需要进行越区切换,相关基站需要提前做切换准备,从而缩短时间延迟,减小掉话率。

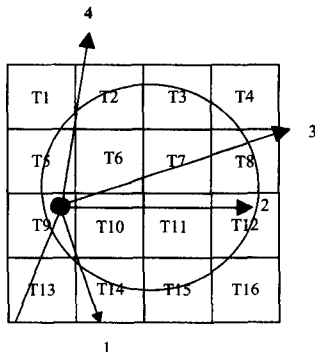


图 2 蜂窝网中移动用户不确定轨迹实例

表 2 一个前项对应多个后项实例

前项	后项编号	后项	Sup+Conf
	1	T14	0.3087
T13, T9	2	T10, T11, T12	0.4037
	3	T6, T7, T8	0.4274
	4	T5, T2	0.2418

2.2 本文算法描述

基于前文的描述和定义,下面介绍相关算法:

算法 1 频繁轨迹挖掘算法

输入: D : 移动对象轨迹数据集;

MinSup: 最小支持度阈值。

输出: F : 频繁轨迹集合。

变量: C_k : k 项候选轨迹集;

f_k : k 项频繁轨迹集;

u_i, u_j : f_k 中的任意一条单位轨迹;

t_i, t_j : 轨迹数据中的任意一条轨迹。

1. 扫描数据库 D ; 找出 f_1 //生成单位频繁轨迹集
2. For all $u_i, u_j \in f_1$
3. if $adjagent(u_i, u_j) = 1$ //判断单位轨迹是否相邻
4. $t = u_i || u_j$
5. $C_2 = C_2 \cup t$ //2 项候选轨迹集
6. Endif

7. EndFor

8. $f_2 = \{C_2 | Sup(C_2) \geq MinSup\}$ //生成 2 项频繁轨迹集

9. For($k=3, f_{k-1} \neq \emptyset, k++$)

10. For all $t_i \in f_{k-1}$

11. For all $t_j \in f_{k-1}$

12. If $connect(t_i, t_j) = 1$ //判断轨迹是否可连接

13. $t_k = t_i || t_j$ //轨迹连接操作

14. $C_k = C_k \cup t_k$

15. EndIf

16. EndFor

17. EndFor

18. $f_k = \{C_k | Sup(C_k) \geq MinSup\}$ //长度为 k 的频繁轨迹集合

19. EndFor

20. Return $F = \bigcup_{i=1}^k f_k$ //返回频繁轨迹集合

算法 2 运动规则生成算法

输入: F : 频繁轨迹集合;

MinConf: 最小置信度阈值。

输出: MoveRules: 运动规则集合;

M_h : 运动规则前项;

M_t : 运动规则后项。

变量: u_k : f_k 中的任意一条单位轨迹;

f_k : k 项频繁轨迹集。

1. For all $f_k \in F, k \geq 2$ do
2. For all $u_k \in f_k$
3. For all $n \leq k-1$ and $n \geq 2$
4. $M_h = \langle u_1, u_2, \dots, u_n \rangle$ //前项
5. $M_t = \langle u_{n+1}, u_{n+2}, \dots, u_k \rangle$ //后项
6. Rules = $M_h \Rightarrow M_t$ //生成关联规则
7. Conf = $\sigma(u_k) / \sigma(u_n)$ //计算置信度
8. If Conf \geq MinConf
9. MoveRules = MoveRules \cup Rules
10. EndIf
11. EndFor
12. EndFor
13. EndFor
14. Return MoveRules($M_h \Rightarrow M_t$) //返回运动规则

算法 3 越区切换判断算法

输入: MoveRules($M_h \Rightarrow M_t$): 运动规则集合(前项 \Rightarrow 后项);

W : 移动用户最近运动轨迹 $W = \langle w_1, w_2, \dots, w_k \rangle$;

C : 蜂窝网的覆盖区域 $C = \langle c_1, c_2, \dots, c_n \rangle$;

n : 用户在蜂窝内连续停留的最少格数。

输出: Handover。

变量: u_i, u_j : f_k 中的任意一条单位轨迹。

1. $x=0$
2. For all MoveRules($M_h \Rightarrow M_t$) = $\langle u_1, u_2, \dots, u_i \rangle \Rightarrow \langle u_{i+1}, u_{i+2}, \dots, u_j \rangle$
3. If $(\langle w_1, w_2, \dots, w_k \rangle \in \langle u_1, u_2, \dots, u_i \rangle)$ and $w_k = u_i$
4. Or $(\langle u_1, u_2, \dots, u_i \rangle \in \langle w_1, w_2, \dots, w_k \rangle)$ and $w_k = u_i$
5. Or $(\langle u_1, u_2, \dots, u_i \rangle = \langle w_1, w_2, \dots, w_k \rangle)$ and $w_k = u_i$
6. FutureWay[$x++$] = M_t . Sup + M_t . Conf ($M_t = \langle u_{i+1}, u_{i+2}, \dots, u_j \rangle$)
7. EndIf
8. EndFor
9. Handover_Yes = 0 //初始化参数
10. Handover_No = 0
11. If length_FutureWay = 0
12. Handover = 1

```

13. Else
14.   For all Num=1: x
15.     InCell=0 //初始化处于蜂窝内轨迹段数
16.     If length_FutureWay[Num]≤n
17.       If  $\langle u_{i+1}, u_{i+2}, \dots, u_j \rangle \in C$  //后项全部处于蜂窝内
18.         Handover_Yes=Handover_Yes+FutureWay[Num]. Sup+FutureWay[Num]. Conf
19.       Else
20.         Handover_No=Handover_No+FutureWay[Num]. Sup+FutureWay[Num]. Conf
21.       EndIf
22.     Else
23.       For all i=1:length_FutureWay[Num]
24.         If FutureWay[Num][i]∈C
25.           InCell=InCell+1 //计算蜂窝内轨迹段数
26.         EndIf
27.       EndFor
28.       If n≤InCell
29.         Handover_Yes=Handover_Yes+FutureWay[Num]. Sup+FutureWay[Num]. Conf
30.       Else
31.         Handover_No=Handover_No+FutureWay[Num]. Sup+FutureWay[Num]. Conf
32.       EndIf
33.     EndIf
34.   EndFor
35. EndIf
36. If Handover_Yes≥Handover_No
37.   Handover=1
38. Else
39.   Handover=0
40. EndIf
41. Return Handover //返回判断结果,即切换值为0还是1

```

3 仿真结果与性能分析

本节通过仿真实验验证所提出的轨迹挖掘算法、运动规则生成算法和越区切换判决算法,并与传统切换算法进行比较。所有算法实现采用 MATLAB 语言编写,在 Pentium(R) Dual-Core、2.10 GHz、RAM 为 2.00 GB,操作系统为 Windows 7 旗舰版 32 位的计算机上运行。

本仿真实验数据空间大小为 360×343 (单位轨迹),切换判决次数为 500、1000、1500,参数设置为: $MinConf=0.6$, $MinSup=0.03$ 和 $MinSup=0.04$ 。

仿真结果 1: 设定最小支持度阈值 $MinSup=0.03$ 。

对仿真结果图 3、图 4 中的图(a)分析如下:

仿真图显示的是总的越区切换判决次数与必要越区切换次数(或非必要越区切换次数)之间的关系,模拟的场景是移动用户进入新的蜂窝后可能立即离开或者在蜂窝内停留。该仿真结果说明了本文所提出的方案能够有效判断出必要切换与非必要切换,在一定程度上降低了由于乒乓移交所带来的通信代价。

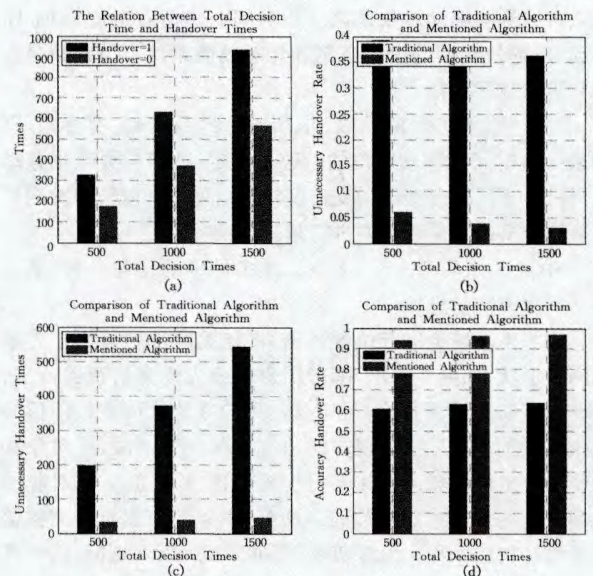


图 3 仿真结果图($MinSup=0.03$)

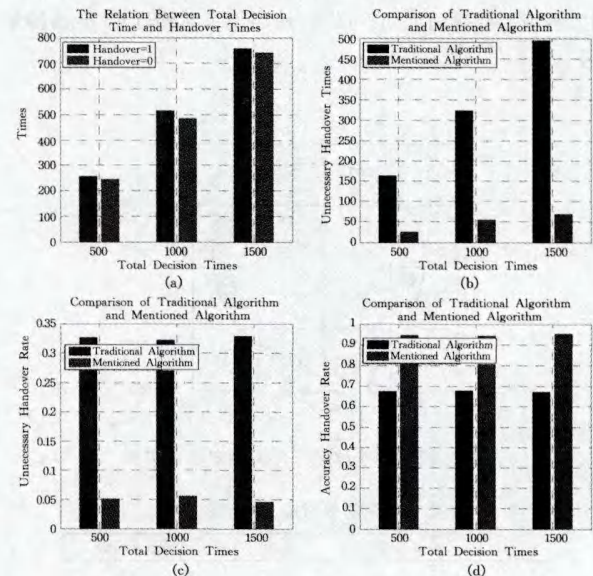


图 4 仿真结果图($MinSup=0.04$)

仿真结果 2: 设定最小支持度阈值 $MinSup=0.04$ 。

对仿真结果图 3、图 4 中的图(b)分析如下:

仿真图显示的是本文所提出的方案与传统方案之间在越区切换时产生的非必要切换次数的关系比较图,通过比较得出结论:本文所提出的方案有效降低了不必要的切换次数,优于传统方案,其减小了移动用户在发生越区时由于频繁切换而导致的资源浪费,从而提高了通信系统的整体容量。

对仿真结果图 3、图 4 中的图(c)(d)分析如下:

仿真图显示的是本文提出的方案与传统方案在越区切换时产生的错误切换率与准确率的比较图,且越区切换的判决次数增加时该方案的性能保持稳定。通过比较得出结论:本文所提出的方案的错误切换率远远低于传统方案的错误切换率、准确率远远高于传统方案的准确率,有效减少了移动用户在发生越区时由于错误切换而导致的丢包现象,降低了移动用户在越区切换过程中的掉话率,从而在一定程度上提升了

(下转第 220 页)

$$=([J]_2 \otimes I_2 \otimes I_4)(I_2 \otimes [J]_2 \otimes I_4) \cdot (I_4 \otimes [J]_2 \otimes I_2)(I_4 \otimes I_2 [J]_2) \quad (52)$$

由上一节得知块矩阵 $[J]_2^2$ 为一个可由快速算法构建的4阶CBIJM。因此,二维4阶CBIJT可以由基于2重4阶CBIJT的快速算法设计得到,如图2所示。

结束语 本文提出了一个设计快速一维和二维CBIJT的简单方法。该方法可以简单而清晰地将一个高阶CBIJM分解为多个低阶CBIJM。此分解算法对适当的矩阵单元 α 在单元有限域 $GF(2^p)$ 上的 (p^s) 阶CBIJM有效。同时这些结果对于其他以递归式开发基于稀疏矩阵的二维快速CBIJM也有借鉴价值。由于其架构的特殊连续性,可以考虑应用于区组设计(CD)和低密度校验(LDPC)之中。

参考文献

[1] Ahmed N, Rao K R. Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing[M]. Springer-Verlag New York, Inc. Secaucus, NJ, USA, 1975
 [2] Lee M H. The Center Weighted Hadamard Transform[J]. IEEE Trans. Circuits Syst., 1989, 36(9): 1247-1249
 [3] Lee M H, Borrisov Y L. On Jacket transforms over finite fields

[J]. IEEE Inter. Symp. Infor. Theory, 2009; 2803-2807
 [4] Lee M H. A new reverse jacket transform and its fast algorithm [J]. IEEE Trans. Circuits and Systems II, Analog/Digit. Signal Process, 2000, 47(1): 39-47
 [5] Lee M H, Rajan B S, Park J Y. A generalized reverse Jacket transform[J]. IEEE Trans. Circuits and Systems, 2001, 48(7): 684-690
 [6] Lee M H, Guo Y. A Novel Construction of Jacket Matrix from Characters on finite Abelian Group[J]. IET Electronics Letters, 2010, 46
 [7] Chen Z, Lee M H, Zeng G. Fast cocyclic Jacket transform[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 2008, 56(5): 2143-2148
 [8] Lee M H, Hou J. Fast block inverse Jacket transform[J]. IEEE Signal Process. Lett., 2006, 13(4): 461-464
 [9] Zeng G, Lee M H. A generalized reverse block Jacket transform [J]. IEEE Trans. Circuits and Systems, 2008, 55(6): 1589-1600
 [10] Lee M H, Zhang X D. Fast Block Center Weighted Hadamard Transform[J]. IEEE Trans. Circuit & Systems, 2007, 54(12): 2741-2745
 [11] Horadam K J, Udaya P. Cocyclic Hadamard Codes [J]. IEEE Trans. Infor. Theory, 2000, 46(4): 1545-1550

(上接第190页)

用户的满意度、节约了通信的信令开销,进而提高了通信系统的QoS。

对图5分析如下:

其示出实验数据空间一定的情况下本文算法与传统算法的运行时间对比结果,本文所需要的时间比传统算法所需要的时间短,当数据量增大时,本文的这种优势会更明显。这样降低了预测所需要的时间,进一步降低了掉话率,提高了通信服务质量。

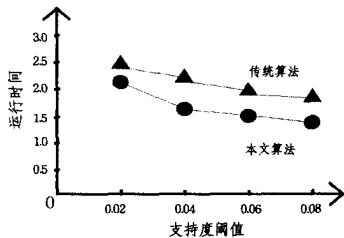


图5 支持度阈值与运行时间对比图

结束语 本文在研究现有位置预测的基础上提出了基于频繁轨迹挖掘的预测方案,将该方案应用于蜂窝移动通信系统的越区切换中,通过对仿真结果图的分析得出结论:本文所提出的方案优于传统方案,提高了通信系统的整体质量,在实际通信实践中具有指导意义,它为未来解决小蜂窝、频繁切换、支持大量用户与多媒体应用的问题提供了新的思路。另外,该方案在实际应用中还有若干问题有待解决,如,当数据规模较为庞大时如何使存储以及读取效率更高,在历史移动轨迹数据更新时如何高效更新频繁轨迹集合,此问题有待进一步研究。

参考文献

[1] Becvar Z, Mach P. Adaptive hysteresis margin for handover in femtocell networks[C]// 2010 6th International Conference on Wireless and Mobile Communications (ICWMC). IEEE, 2010; 256-261

[2] Singhrova A, Prakash N. Vertical handoff decision algorithm for improved quality of service in heterogeneous wireless networks [J]. IET Communications, 2012, 6(2): 211-223
 [3] 魏珏. 蜂窝移动通信系统物理小区识别自组织技术研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2013
 [4] Piro G, Grieco L A, Boggia G, et al. Simulating LTE Cellular Systems: An Open-Source Framework [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011, 60(2): 498-513
 [5] Jara A J, Silva R M, Silva J S, et al. Mobile IP-Based Protocol for Wireless Personal Area Networks in Critical Environments [J]. Wireless Personal Communications, 2011, 61(4): 711-737
 [6] Ramanathan P, Agrawal P, Kishore S, et al. Dynamic resource allocation schemes during handoff for mobile multimedia wireless networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(7): 1270-1283
 [7] 李小文,等. TD-SCDMA 第三代移动通信系统、信令及实现[M]. 北京:人民邮电出版社, 2006
 [8] 刘雪洁,刘衍珩,李奇. 移动环境下基于策略的信道资源管理研究[J]. 计算机科学, 2009(4): 97-100
 [9] 宁国勤,张静,刘干,朱光喜. 异构分层无线网络中基于业务 QoS 保证的切换策略研究[J]. 计算机科学, 2010(1): 83-86
 [10] Song Li-bo, Kotz D, Jain R, et al. Evaluating location predictors with extensive Wi-Fi mobility data [C]// INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. 2004, 2: 1414-1424
 [11] Jeong B, Shin S, Jang I, et al. A Smart Handover Decision Algorithm Using Location Prediction for Hierarchical Macro/Femto-Cell Networks[C]// 2011 IEEE Vehicular Technology Conference. [v. 3]. 2011: 1759-1763
 [12] Chen S-M, Sue P-J. Constructing concept maps for adaptive learning systems based on data mining techniques[J]. Expert Systems with Application, 2013, 40(7): 2746-2755
 [13] Tsukamoto K, Kashihara S, Taenaka Y, et al. An efficient handover decision method based on frame retransmission and data rate for multi-rate WLANs[J]. Ad hoc Networks, 2013, 11(1): 324-338