

基于上下文和粒子滤波的辅助切换机制

王玉祥^{*①②} 徐翰^③ 马廷淮^{①②}

^①(南京信息工程大学江苏省网络监控中心 南京 210044)

^②(南京信息工程大学计算机与软件学院 南京 210044)

^③(中国地质大学地球物理与信息技术学院 北京 100083)

摘要: 无线通信系统切换机制是支持用户无缝移动服务的一项关键技术, 切换成功与否直接影响着用户业务体验和应用。该文提出基于上下文和粒子滤波算法的辅助切换机制, 利用粒子滤波算法准确预测移动台下一时刻位置, 用户上下文信息对移动台切换起辅助支撑作用。文中提出一种预切换决策机制, 为快速、准确和可靠切换判决提供依据, 并提前预留资源, 显著改善网络服务质量。理论分析和仿真结果表明, 该方法位置预测更接近用户真实运动轨迹, 位置和速度均方根误差较小, 大大提高切换成功率。

关键词: 无线通信; 切换机制; 上下文; 粒子滤波算法; 均方根误差

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2012)01-0223-04

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2011.00300

The Auxiliary Handoff Mechanism Based on Context and Particle Filter Algorithms

Wang Yu-xiang^{①②} Xu Han^③ Ma Ting-huai^{①②}

^①(*Jiangsu Engineering Center of Network Monitoring,*

Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

^②(*School of Computer and Software, Nanjing University of Information & Science, Nanjing 210044, China*)

^③(*Institute of Geophysics and Information Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: The handoff mechanism, a key technology to support the user seamless mobile services in wireless communication system, has a great impact on users' services experiences and application. This paper presents the auxiliary handoff mechanism based on context and particle filter algorithms, using particle filter algorithms to predict the mobile station location next time accurately, the user context information plaies an auxiliary supporting role. This method is a pre-handoff decision-making mechanism, to provide fast, accurate and reliable basis for decisions, and reserve resources in advance, significantly improve the QoS of network. Theoretical analysis and simulation results show that location prediction is closer to true trajectory of the user, the RMSE of position and velocity is smaller, greatly improve the success rate of handoff.

Key words: Wireless communication; Handoff mechanism; Context; Particle filter algorithms; Root Mean Square Error (RMSE)

1 引言

随着无线通信的发展, 出现了各种各样制式无线网络共存的局面, 每一种无线网络的出现都适应了不同层次的用户群, 以满足人们的丰富多彩的生活需要。此外, 通信业务呈现出宽带化、智能性和多样化, 新业务将为用户提供实时的、高质量的多媒体业务体验。异构网络融合性、通信业务多

样性以及用户的移动性使得切换机制成为移动通信系统的必要条件, 是为用户提供无缝服务的一项关键技术, 在移动通信发展中切换技术起着举足轻重的作用。

目前对切换机制出现诸多研究, 例如文献[1-3]通过预测移动台信号强度判断移动台在不同基站之间的切换; 文献[4]综合考虑移动台当前位置、运动方向和速度矢量进行动态速率切换; 文献[5]运用序列蒙特卡洛滤波(sequential Monte Carlo filter)来预测移动台的位置并辅助移动台进行切换; 文献[6]提出一种基于上下文信息和证据理论的位置预测方

2011-03-30 收到, 2011-10-11 改回

南京信息工程大学科研基金(20100393), 江苏高校优势学科建设工程和国家自然科学基金(60802034, 41071253)资助课题

*通信作者: 王玉祥 quanlin@163169.net

法;文献[7]仅仅利用道路拓扑信息进行移动台切换;文献[8,9]将基站覆盖区划分成子区域,当移动台进入基站边缘区域时,在可能进入的基站覆盖区进行切换;文献[10-12]提出了根据移动台位置信息动态调整切换门限的切换算法。本文在上述文献的基础上,针对切换中仅仅以信号强度和质为切换机制唯一判决依据的不足,提出了基于上下文和粒子滤波算法切换机制,应用粒子滤波算法准确预测移动台下一时刻位置,并结合用户各类上下文信息比如道路上下文信息和用户电子日历信息,充分考虑移动台运动方向和速度等独特性,保证了切换的有效性和最优化。实验表明本方法比较传统的切换方法有较高的准确性和实用性。

2 基于上下文和粒子滤波算法的切换机制

2.1 路径上下文信息模型

对路径上下文信息建立模型如图 1,可将基站覆盖范围分为:非预测区域(NPZ)为移动台距离基站较近,不需要预测移动台位置。可能预测区域(KPZ)为移动台高速运动中,可能需要预测的位置。预测区域(PZ)为移动台距离基站较远,需要预测移动台的位置。文中将路径信息划分成小段,由图 1 可知,路径划分为 AB, BO, OC, CD, DE 等路段。

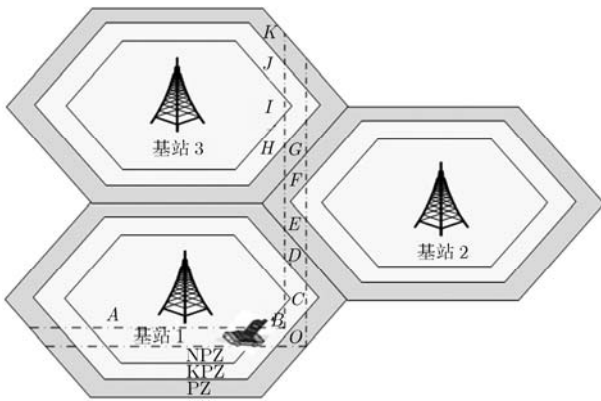


图 1 基站覆盖区划分及路径分段图

2.2 基于上下文和粒子滤波算法切换机制总体流程

切换机制总体流程如图 2 所示。首先判断移动台处于基站覆盖区类型,决定是否需要对移动台位置进行预测,如果需要预测,则调用粒子滤波算法;然后再根据预测结果即下一时刻位置基站信号强度和质,利用上述多参数综合判决是否需要进行基站间切换。下面详细阐述总体流程各关键环节。

2.2.1 判断是否需要预测移动台位置 基于粒子滤波算法的位置预测判决算法流程描述如下:

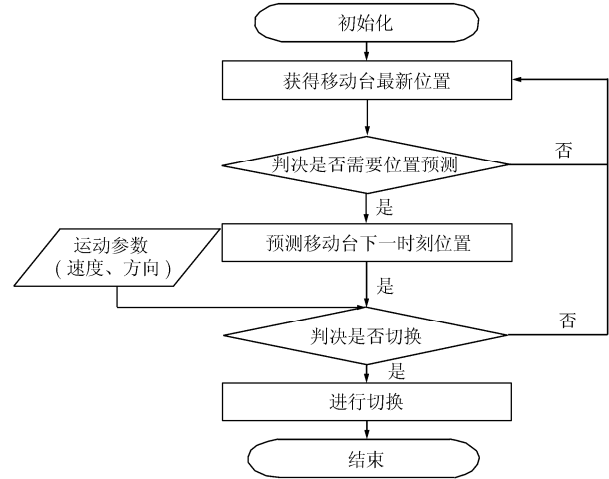


图 2 基于上下文和粒子滤波算法切换机制总体流程

(1)获得移动台所在路段上下文信息。

(2)判断当前路段所处基站覆盖区类型。

(3.1)若路段处于 PZ 区域,则需要预测移动台位置并结束。

(3.2)若路段处于 NPZ 区域,则无需预测移动台位置并结束。

(3.3)若路段处于 KPZ 区域,并且移动台高速运动,则执行(4);否则无需预测位置并结束。

(4)判断移动台运动方向是否是当前服务基站信号增强方向。

(5.1)若是信号增强方向,则无需预测移动台的位置。

(5.2)若是信号减弱方向,则需要预测移动台的位置。

2.2.2 基于粒子滤波的位置预测

2.2.2.1 状态模型 假设目标移动台在 2 维平面上运动, T_s 为抽样间隔, x_k, y_k 分别表示移动台在 t 时刻的横坐标和纵坐标, v_{x_k}, v_{y_k} 表示移动台在 t 时刻对应的速度, $\mathbf{a}_k = [a_{x_k}, a_{y_k}]^T$ 表示移动台在 t 时刻的加速度向量。则离散时间的运动模型可以表示为

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ v_{x_k} \\ v_{y_k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & T_s & 0 \\ 0 & 1 & 0 & T_s \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \\ v_{x_{k-1}} \\ v_{y_{k-1}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_s^2/2 & 0 \\ 0 & T_s^2/2 \\ T_s & 0 \\ 0 & T_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{x_{k-1}} \\ a_{y_{k-1}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2.2.2 测量模型 假设下一时间段内移动台以 $\mathbf{a}_{k+1} = \mathbf{a}_k + \omega$ 的加速度运动, ω 为随机变量, $\omega \sim N(0, \sigma^2)$ 为测量噪声,则移动台在下一时间段的运动路程公式如式(2)所示。

$$S_{k+1} = v_k T_s + (1/2)(\mathbf{a}_k + \omega) T_s^2 \quad (2)$$

假设移动台所处的路段的轨迹方程为 $x =$

$x(\eta), y = y(\eta)$ 。移动台下一观测时刻的位置坐标如式(3):

$$S_{k+1} = \int_{\eta_k}^{\eta_{k+1}} \sqrt{x'^2(\eta) + y'^2(\eta)} d\eta \quad (3)$$

由式(2)和式(3)可得移动台的观察模型为

$$v_k T_s + \frac{1}{2}(\mathbf{a}_k + \omega) T_s^2 = \int_{\eta_k}^{\eta_{k+1}} \sqrt{x'^2(\eta) + y'^2(\eta)} d\eta \quad (4)$$

权重调整的方程如下:

$$w_{k+1}^i = w_k^i \cdot \exp\{-[(x_{k+1}^i - x_k)^2 + (y_{k+1}^i - y_k)^2]\} \quad (5)$$

2.2.2.3 基于粒子滤波的位置预测

第1步 初始化 在移动台当前的位置坐标 $L=(x, y)$ 的基础上, 加上符合正态分布的随机量形成 N 个粒子, 并给每个粒子赋予权值 $1/N$, 得到粒子集。

第2步 移动台将进入的路段判断 用式(2)算出移动台下一时间段的运动距离, 根据当前路段的上下文信息, 通过式(3)计算出当前路段的剩余长度。

第3步 粒子预测 由第 k 个采样点的粒子集 $S_k = \{L_k^j, w_k^j\}_{j=1}^N$ 通过式(4)得到下一采样时刻的粒子集 $S_{k+1} = \{L_{k+1}^j, w_{k+1}^j\}_{j=1}^N$, 下一时刻移动台的预测坐标向量为 $L_{k+1} = \sum_{j=1}^N L_{k+1}^j w_{k+1}^j$ 。

第4步 判断是否需要预测下一时刻位置 获得移动台 $k+1$ 时刻的坐标判断是否需要预测移动台下一时刻的位置。如果不需要预测移动台下一时刻的位置, 则转到第 1 步等待下一时刻的 GPS 定位信息; 如果需要预测, 则继续执行第 5 步。

第5步 重要性加权 利用式(5)可以获粒子的新权重 w_{k+1}^i , 此后还要对粒子的权重进行归一化处理, 依据式(6)可以得到粒子的归一化权重。

$$w_{k+1}^i = w_{k+1}^i / \left(\sum_{j=1}^N w_{k+1}^j \right) \quad (6)$$

第6步 重采样 为了防止粒子退化的问题, 文献[13]提出用有效抽样 N_{eff} 来度量退化的程度, 文中采用重采样的方法, 利用式(7)来评价粒子的退化程度。

$$N_{\text{eff}} = 1 / \left(\sum_{j=1}^N (w_{k+1}^j)^2 \right) \quad (7)$$

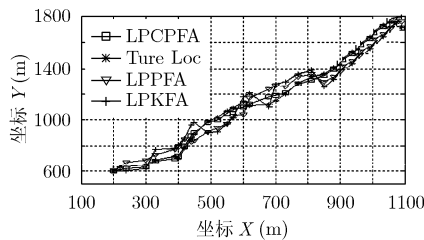


图 3 真实运动轨迹和各种算法预测结果比较

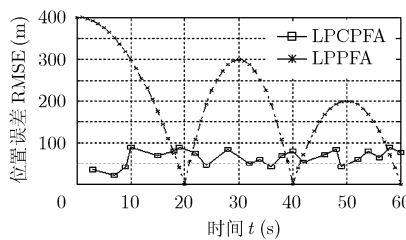


图 4 位置 RMSE 误差比较

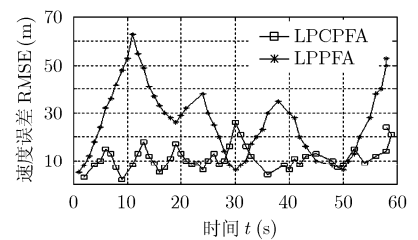


图 5 速度 RMSE 误差比较

3 仿真实验

3.1 实验方法

对移动台的运动轨迹预测进行 MATLAB 仿真, 并对用户位置和移动速度均方根误差 RMSE 进行比对, 用户位置均方根误差为

$$\text{RMSE}_{\text{position},k} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(x_{k,i} - x_k)^2 + (y_{k,i} - y_k)^2]}{N}} / M \quad (8)$$

其中 N 为粒子数, $x_{k,i}, y_{k,i}$ 为测量值, x_k, y_k 为真实值, M 为粒子滤波仿真次数。

用户移动速度均方根误差如式(9):

$$\text{RMSE}_{\text{velocity},k} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [(v_{x_{k,i}} - v_{x_k})^2 + (v_{y_{k,i}} - v_{y_k})^2]}{N}} / M \quad (9)$$

其中 N 为粒子数, $v_{x_{k,i}}, v_{y_{k,i}}$ 为测量值, v_{x_k}, v_{y_k} 为真实值, M 为粒子滤波仿真次数。

3.2 实验结果和分析

实验 1 真实运动轨迹和各算法预测值比较

图 3 为移动台真实运动轨迹(Ture Location, Ture Loc)与卡尔曼滤波算法位置预测 LPKFA 和基于粒子滤波算法位置预测 LPPFA 以及基于上下文和粒子滤波算法位置预测 LPCPFA 对比图。

从图中可以得知引入上下文后, 根据路径上下文信息和用户电子历程上下文信息以及结合移动台的运动速度和方向等参数进行粒子滤波预测算法相对于传统粒子滤波算法有较高的准确性。

实验 2 运动速度和方向 RMSE 值比较

利用式(8)和式(9)可得移动台位置 RMSE 误差和移动速度 RMSE 误差, 如图 4 和图 5 所示。

由图可知, 基于上下文和粒子滤波算法位置预测 LPCPFA 用户位置 RMSE 误差和移动速度 RMSE 误差比基于粒子滤波算法位置预测 LPPFA 要小, 从而位置预测准确性优于粒子滤波算法, 有效提高切换成功率。

4 总结

切换机制是无线通信系统中保持用户移动性的

必要条件, 切换成功与否直接影响着用户的业务体验和应用。本文提出一种基于上下文和粒子滤波算法的辅助切换机制, 这种方法能够准确预测移动台位置, 结合路径上下文信息和电子日程表信息, 并参照移动台运动速度和方向多参数判决切换。通过仿真实验, 该方法对位置预测有较高的准确性, 从而能够为切换判决提供可靠决策依据。

文中方法仅仅涉及比较重要上下文类型, 上下文信息的种类还需要进一步完善。在今后研究中可以参照交通信号灯等其它上下文信息, 从而减小方法计算复杂度, 为用户实时性切换提供可靠保证。

参考文献

- [1] Mao Wan-dui, He Zhao-feng, Liu Ning-ning, *et al.*. Study on the soft handoff simulation based on received signal strength in CDMA [C]. 2009 International Conferences on Artificial Intelligence and Computational Intelligence, Shanghai, China, 2009, Vol.2: 145-149.
 - [2] 刘侠, 蒋铃鸽, 何晨. 一种基于模糊逻辑的预判决辅助垂直切换算法[J]. 电子学报, 2007, 35(10): 1989-1993.
Liu Xia, Jiang Ling-ge, and He Chen. A novel vertical handoff algorithm based on fuzzy logic in aid of pre-decision method [J]. *Acta Electronica Sinica*, 2007, 35(10): 1989-1993.
 - [3] 李亚, 卜智勇. 基于信号预测的自适应切换方式[J]. 微计算机信息, 2009, 25(3): 93-95.
Li Ya and Bu Zhi-yong. Adaptive handover algorithm based on signal prediction[J]. *Microcomputer Information*, 2009, 25(3): 93-95.
 - [4] 裴廷睿, 郭德智, 王亚兰. 基于位置服务信息的动态速率切换算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(15): 110-112, 130.
Pei Ting-rui, Guo De-zhi, and Wang Ya-lan. Dynamic rate handoff algorithm based on LBS information[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(15): 110-112, 130.
 - [5] Yang Zi-gang and Wang Xiao-dong. Joint mobility tracking and handoff in cellular networks via sequential Monte Carlo filtering [J]. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2003, 51(1): 269-281.
 - [6] Samaan N and Karmouch A. A mobility prediction architecture based on contextual knowledge and spatial conceptual maps [J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2005, 4(6): 537-551.
 - [7] Ali Nawaz Khan and Sha Xue Jun. A new handoff ordering and reduction scheme based on road topology information[C]. 2006 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Wuhan, China, 2006: 1-4.
 - [8] Sanabani M, Shamala S, Othman M, *et al.*. A capable location prediction and bandwidth reservation scheme for multimedia in mobile cellular networks[C]. Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics Proceedings, Johor Bahru, Johor, Malaysia, 2005: 351-355.
 - [9] Liou Shiang-chun, Lu Hsuan-chia, and Yeh Kuo-hsien. A capable location prediction and resource reservation scheme in wireless networks for multimedia[C]. Multimedia and Expo, 2003, ICME '03, Proceedings, Baltimore, MD, USA, 2003, 3: III-577-580.
 - [10] Yap J H, Yang X, Ghaheri-Niri S, *et al.*. Dynamic hysteresis value for position assisted soft handover[DB/OL]. 2009-03-12. <http://ieeexplore.ieee.org/stampPDF/getPDF.jsp?tp=&arnumber=01032082>.2009.
 - [11] 胡可刚, 王琳珠, 周利, 等. 基于切换预测的位置信息辅助软切换算法[J]. 吉林大学学报(工学版), 2010, 40(4): 1122-1126.
Hu Ke-gang, Wang Lin-zhu, Zhou Li, *et al.*. Position assisted soft handover algorithm based on forecast of handover [J]. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 2010, 40(4): 1122-1126.
 - [12] Yuan Yue-ming, Guan Wei, and Qiu Wei. Map matching of mobile probes based on handover location technology[C]. 2010 International Conference on Networking, Sensing and Control, (ICNSC), Chicago, USA, 2010: 587-592.
 - [13] Liu J S and Chen R. Sequential Monte Carlo methods for dynamical systems[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 1998, 93(443): 1032-1044.
- 王玉祥: 男, 1971年生, 博士, 讲师, 研究方向为通信软件与网络管理。
- 徐翰: 男, 1988年生, 硕士生, 研究方向为地理信息系统。
- 马廷淮: 男, 1974年生, 博士, 副教授, 主要从事普适计算、数据挖掘、计算智能方面的研究工作。