



泛在网络环境下移动性预测方法的挑战及关键思想^{*}

田 洁¹, 赵季红^{1,2}, 曲 桦¹

(1. 西安交通大学 西安 710049; 2. 西安邮电大学 西安 710061)

摘 要: 泛在网将个人通信、娱乐、业务应用等都融合在了一张网内, 给用户带来了更丰富的业务体验。而移动化的泛在网将更加强调用户即使在移动的状态下, 也能够无缝地获得无所不能、无所不包的服务, 而移动性预测技术作为一种主动积极的基于位置的服务, 同时面临了更多的挑战。在研究现有移动性预测的基础上, 针对未来移动泛在网络的业务模式及需求, 分析了在移动泛在网络环境下的移动预测应具备的特点及其研究方向。为了能够充分适用于移动泛在网络, 提出了未来的移动性预测技术, 需要解决网络异构性、终端协同性以及业务智能性对移动性预测技术带来的挑战。

关键词: 泛在网; 协同服务; 移动性预测

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.11.011

Challenges and Solutions of Mobility Prediction Technology in Ubiquitous Network

Tian Jie¹, Zhao Jihong^{1,2}, Qu Hua¹

(1. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 710061, China)

Abstract: Ubiquitous network combines individual communication, entertainment and application services into a single network. Thereby, users can enjoy more various business experiences. The mobile ubiquitous network emphasizes that users are able to acquire various application services continuously when they are moving. Therefore, higher request of mobility prediction technology was put forward. Current mobility prediction technology was researched and the features of mobility prediction technology which belong to mobile ubiquitous network according to applications in future mobile ubiquitous network were analyzed. In order to be adapted by mobile ubiquitous network sufficiently, the prediction of mobility presented need to solve the challenges brought by heterogeneity, terminal collaboration and intelligent application.

Key words: ubiquitous network, cooperative service, mobility prediction

1 引言

以向个人提供最佳业务体验为动力的移动通信与泛在网络的协同与融合, 构成移动泛在业务环境, 代表了下一代移动无线互联网络的重要发展方向^[1]。在未来, 泛在化

的智能设备将遍布在用户的周围, 并且这些具有无线接入能力的智能设备将能够随时随地感知用户的需求, 用户周围所有可用的智能终端可构成一个终端群, 并通过多样化的异构网络协同地为用户提供无处不在的服务。在此基础上, 移动泛在业务环境下更加强调的是即使用户处在移动

^{*} 国家自然科学基金资助项目 (No. 61071126), 国家科技重大专项“新一代宽带无线移动通信网”基金资助项目 (No. 2011ZX03005-004, No. 2012ZX03001029-003, No. 2012ZX03001008-003)

的状态下,也能够通过异构无线网络及多个智能终端的协同使用户无缝地获得无所不能、无所不包的服务,而这也正是移动泛在网络的核心理念。在这种应用环境下,如何通过多终端多网络的协同为移动用户提供基于 ABE (always best experience, 始终最佳的体验) 的服务,已成为一项重要研究内容,与此同时,如何实现网络控制,提高网络资源利用率,解决异构网络的互联互通以及多种网络融合环境下的无缝切换等一系列问题也已成为基础性的难题。

为了更好地解决这些问题,越来越多的研究者开始关注并研究移动性预测技术。其作为一种基于位置服务的主动积极方案,通过提前预测移动终端的位置,为移动终端预留网络资源以及实现预切换,从而保证服务质量。由此可见,在移动泛在网络业务环境下,移动性预测技术在实现无缝移动并提高用户体验方面显得更加重要。

2 移动性预测方法的研究现状

关于移动性预测方法研究的应用场景目前主要有两大类:一类是应用于有基础设施的无线网络环境,如蜂窝移动通信网络、无线局域网等,这类场景下的移动性预测方法主要用来辅助网络进行切换控制及无线资源管理;还有一类主要应用于以 Ad Hoc 技术为基础和典型代表的无基础设施的无线网络环境,通过移动性预测方法来优化 Ad Hoc 网络环境下的路由管理机制。

2.1 有基础设施网络环境下的移动性预测方法及存在问题

有基础设施网络环境下的移动性预测方法从移动性管理的角度出发,主要关注如何应用移动性预测,通过对移动终端位置的预测,基于预测信息对移动终端进行寻呼,同时也可以在移动终端预测位置的所在小区完成预切换工作,从而减少切换时延。另一方面,基于预测信息,也可以提前与预测位置所在小区进行移动终端所需的资源预留协商,包括地址分配、带宽资源预留等。

最早提出的移动性预测方法是采用基于构造运动函数的预测方法,这种预测方法主要从物理概念的角度来描述移动对象的运动情况,如结合移动对象当前的运动方向、速度等因素,通过与构造的运动函数进行拟合,从而预测移动对象在下一时间段内的位置变化情况。参考文献[2]最早假设移动对象在某时刻的速度方向不会改变,通过构造线性运动模型,根据线性运动函数对移动对象的位置进行预测。考虑到实际中移动对象的运动大多都是非线性的,参考文献[3]克服了线性预测的缺陷,提出更加符合实

际情况的非线性的基于未知模型的预测方法,能够对以任何轨迹运动的移动对象进行位置预测。这种基于构造运动函数的方法虽然提出较早,但由于当今移动通信环境对于实时性的需求高,这类方法因其构造运动函数的复杂性已不能很好地满足网络的需求。

目前,能够适用于无线网络预切换及资源预留方面的移动预测方法以统计预测思想与分析预测思想为主。统计预测的方法是从整个网络的宏观角度出发,对网络内整体的历史数据进行统计分析,并将提炼出的统计结果作为判决条件,用于分析新进入网络的移动对象的轨迹,从而达到移动预测的目的。如参考文献[4]中通过统计网络历史数据中移动终端经过的小区序列的情况,以此作为网络内移动用户的移动模型,从而与网络部移动用户的移动模式进行匹配,根据匹配结果对用户的位置进行预测。还有一些研究者以道路为单位,根据道路拓扑结构,统计不同路段上发生切换的概率,从而对移动用户将要切换的目标小区进行预测,也是基于统计的预测思想,如参考文献[5]。这种宏观上的统计预测的方法对于网络系统而言,有利于网络进行整体优化,然而这种方法忽略移动对象个体的随机性,因此从用户的角度看,运用统计信息进行预测,准确度较低,很难保证网络内的每一个用户都能通过移动预测进行预切换及资源预留。

分析预测思想与统计预测思想不同的是,它从移动用户本身的历史信息出发,利用人工智能及机器学习的方法,从移动用户过去的运动中发现用户的移动规律,形成用户自身的移动模型,从而对用户将来的运动进行预测。在这方面比较常用到的是基于神经网络的自学习方法,分析学习用户的行为并记录下来,作为用户的移动模型。如参考文献[6]中,以无线 mesh 网络为例,利用反向传播神经网络算法来学习分析历史时间序列,得到用户的移动模型,从而对用户的运动进行预测,实现了在无线 mesh 网络下的移动连续性及无缝连接。而对于短时间内,没有大量历史数据的情况,参考文献[7]中提出了基于免疫系统的人工智能预测算法,对于那些移动时间较短且移动模式难以捉摸的移动用户的位置起到了很好的预测效果。

由此可见,统计预测的方法统计了大量的历史统计信息,而分析预测的方法则加强了对于移动用户本身历史信息的分析,因此,为了综合考虑网络侧 QoS 需求以及用户终端侧的用户体验需求,有必要将这两种预测方法的优势相结合以进一步提高移动性预测的性能,而这也是下一步



研究开展的方向。

2.2 无基础设施网络环境下的移动性预测方法及存在问题

在以 Ad Hoc 网络为典型的无基础设施的网络环境中,没有蜂窝式移动通信中的基站作为数据转发点,当进行远距离传输的时候,是通过移动节点间的多跳路由完成。然而节点移动自由度较大以及网络拓扑结构多变的特点增加了路由发现的消耗,因此通过引入移动节点的位置信息,并对移动节点的位置进行预测,这在一定程度上可以帮助掌握快速变化的网络拓扑结构,从而能够在进行路由发现的时候,有目的、有范围地选取路径。

面向无基础设施网络环境下的移动性预测主要侧重于通过预测来判断链路是否稳定及可靠。当 Ad Hoc 网络中的移动节点通过多跳路由来完成远距离的信息传输时,节点间相互独立的移动可能会导致正在使用的多跳路由发生断裂,因此为了能够令所找到的路由稳定,就需要通过节点自身的设备临时获取目标节点信息,并对节点的位置及运动信息进行预测,以此获得生存时间尽可能长的路由,使路由尽量稳定。

目前,Ad Hoc 网络下典型的移动预测都是通过 GPS 使移动节点获得自己的位置信息,并根据现有时刻移动节点的状态信息来对节点未来时刻进行模糊预测,如参考文献[8,9]。链路可用性预测模型的提出是基于对链路可用性的预测,该模型依照现在时刻移动节点的运动信息和位置信息预测估计出一段时间内节点的移动位置,从而判断两点间的链路是否可用,如参考文献[10~12]。然而,为了能够获得生存时间尽可能长的链路,参考文献[13]提出链路维持时间的预测模型,通过对网络中无规则的、随意运动的节点的轨迹或者节点间的相互轨迹进行预测,判断链路连接能够保持的时间。还有一种节点位置预测模型链路维持时间预测模型非常类似,都是基于同一种假设,也就是最近一次获取节点的运动状态后,节点的运动状态保持不变。而不同点在节点的位置预测模型只是针对链路中的一个节点的位置进行预测,这种预测模型适用于节点运动速度慢且运动比较稳定的 Ad Hoc 网络。

3 移动泛在网络下的移动性预测方法面临的挑战

3.1 未来泛在网络环境的基本特征

(1)异构化的网络环境

在移动通信从 2G 向 3G 发展的过程中,产生了许多

不同的无线传输技术,如 GSM、CDMA、WCDMA、cdma2000、WiMAX、ZigBee、Bluetooth 等。可以看出,未来的移动泛在网络不是一个单纯的网络,而是集已有的甚至是后续演进技术和网络的大集合,是一个由支持信息社会升级到泛在社会的智能信息架构。从这个角度来说,泛在网络将是一个涵盖所有网络类型的复杂网络环境,并且也是一个各种异构网络之间融合与协同的过程。

由于网络环境的异构性,用户将会同时处于若干个不同网络的覆盖下,并且会频繁地在不同的网络中迁移。因此在未来移动泛在网络下,需要屏蔽这种网络异构性,根据用户周围环境的变化为用户提供无缝的、最佳的业务体验。

(2)泛在协同的智能终端

随着终端技术呈现出明显的多样化、智能化以及多模化的发展趋势,在未来移动泛在网络环境下,用户可以利用周围可用的终端接入不同的网络同时为用户提供服务。

多个终端根据用户的需求、业务特征以及周围环境的变化能够自适应地进行协同,从而能够在感知、通信、计算以及业务呈现等方面实现终端能力的提升,为用户提供最佳的业务体验。

(3)以用户为中心的智能业务模式

在未来移动泛在网络环境下,将会更加关注用户的需求,并且随时感知用户的行为特征,以用户为中心,深入了解用户周围的环境信息、用户的个人偏好,为用户提供个性化的服务。

另一方面,随着普适计算技术的发展,未来移动泛在网络环境下的业务将呈现出智能化的模式,通过感知周围的上下文信息,终端与网络能够主动进行适配协同,而不需要用户主动参与,向用户提供始终最佳的业务体验,即实现 ABE 的目标。

3.2 移动泛在网络下移动性预测方法的需求及挑战

在移动环境下,随着用户的移动,网络的覆盖以及用户周围可用的终端都会动态地发生变化,而在这种情况下,为了保证用户在移动过程中的业务连续性,终端的协同模式以及接入的无线网络都需要根据周围环境的改变做出相应的变化。由此可以看出,在未来移动泛在网络的环境下,不仅要考虑到泛在网络下的异构性、协同性和智能性,同时更加需要考虑的是在移动的环境下,用户的移动性为网络的异构、终端的协同带来的新变化。

因此,为了实现在“移动+泛在”环境下,保证用户的无

缝移动,并带给用户最佳体验,需要通过移动性预测技术这种积极的方案,提前预测用户周围可能的环境,包括网络状态、终端状态等,从而保证终端接入的网络以及终端的协同模式能够根据环境的变化即时做出相应的变化,从而保证用户能够在移动的状态下,无缝地获得无所不能、无所不包的服务。

移动性预测技术与泛在网络环境下的网络异构性、终端协同性、智能性 3 个特点相结合,主要面临的挑战如下。

- 对于单个终端来说,如何在异构网络的环境中预测即将进入区域的无线网络覆盖情况,以辅助网络切换或小区切换。
- 对于多个终端来说,如何通过移动性预测技术使多个终端保证在任何环境下都有最佳的协同模式,以使网络资源及终端资源的利用率达到最大。
- 如何能够为用户提供智能化的移动性预测服务。

4 移动泛在网络下的移动性预测方法的关键思想

根据对移动泛在网络环境下的移动性预测技术的需求及挑战的理解,关于未来研究移动性预测技术的关键思想路线可以概况为:在屏蔽网络异构性的基础上,通过对环境的预测保证多终端始终能够以最佳的模式协同,同时基于用户的需求,提供智能化的移动性预测,最终实现用户的无缝移动及最佳的业务体验。

4.1 屏蔽网络异构性的预测机制

网络的异构性是泛在网络环境下的移动性预测技术面临的主要问题之一。如前所述,目前对于移动性预测方面的研究虽然已经有很多方法及成果,但是大多数的预测方法只是针对同构网络环境下的移动预测,如在移动蜂窝网中通过对蜂窝小区进行预测。然而在具有多种无线接入技术覆盖的情况下,如果仅采用类似同构网络环境下单纯地以小区为预测目标的预测方法,已不能对切换管理起到很好的优化效果。这是因为在这种多终端、多网络的泛在网络环境下,切换不仅涉及某个移动终端在同一网络下小区间的切换,还包括在不同接入网之间的切换。因此在复杂的网络覆盖环境下,面对网络拓扑结构不再单一的情况,移动性预测更重要的是需要预测移动节点即将进入的区域的无线网络覆盖情况。

在设计移动性预测方案时,首先需要明确在异构网络

环境下如何描述移动节点的移动性。通常对于位置移动的描述有单元描述法和地图匹配法两种,如图 1、图 2 所示。

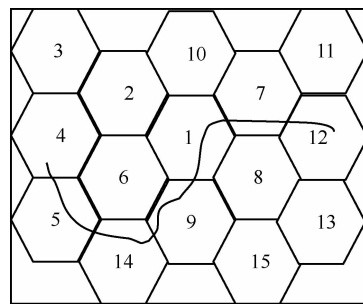


图 1 单元描述法

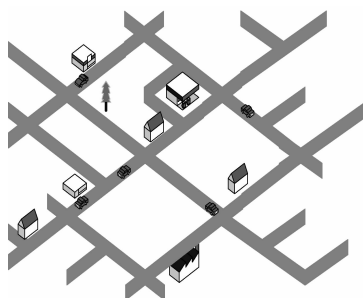


图 2 地图匹配法

在单元描述法中,地理区域可以被分成形状规则的单元,通过经过的单元序列来描述位置的移动性,如蜂窝网络下的基站小区就可看作一个单元。而地图匹配法则是借助 GPS 定位功能,将定位出来的移动节点行驶路线与电子地图进行匹配,从而描述移动轨迹。

在异构网络环境下,为了能够屏蔽无线接入网的异构性,并且简便有效地描述移动节点的移动轨迹,可以用统一的道路拓扑结构来替代复杂的网络拓扑结构,采取单元描述与地图匹配相结合的方法,结合电子地图将道路以交叉路口为节点分段,并以一条路段为一个单元,用经过的路段序列来描述移动节点的移动轨迹。

其次,如何获取单位路段上的网络覆盖信息也是解决异构性预测的一个关键点。在同构网络环境下,通过单位小区内的基站可以获取该小区内部的基本网络信息,基于这种思想,在异构网络环境下,可以采用中间件机制,让该中间件与各个无线网络进行通信,并获取各无线网络的相关信息。目前正在研究开发的 IEEE 802.21 MIH (media independent handover, 介质独立切换) 就是这种策略。而 MIH 中的介质独立的信息服务 (MIIIS) 一般可以提供包括通用接入网络信息、附着点 (point of attachment, PoA) 的信息、高层信息 (HLI) 这三大类网络信息。因此,异构网络的



信息可以借助 IEEE 802.21 的功能获得。

4.2 保证终端最佳协同模式的预测机制

如前所述,异构性预测解决了泛在网络环境下单终端多网络的移动性预测问题,然而在基于异构性预测的基础上,还需要解决多终端多网络的移动性预测问题,也就是基于终端协同情况下的预测问题。根据协同工作的终端之间的分散程度,可将终端协同分为聚合式终端协同和分布式终端协同。

聚合式终端协同通常是指同一个用户携带的多个终端,协同为该用户服务的场景,如图 3 所示。

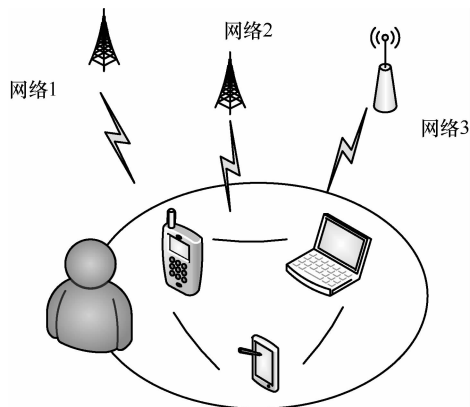


图 3 聚合式终端协同场景

由于在这种场景下,一方面随着用户的移动,无线网络的覆盖情况可能会发生变化,并且由于终端对于无线网络的接入能力各不相同,因此可参与协同的终端也会同时发生变化。而另一方面又考虑到同一个用户所携带的终端的聚合程度较高,因而能够参与协同工作的各个终端所处的环境是基本相同的,包括网络环境、地理环境等。因此对于聚合式终端协同来说,为了使终端群组能够有效地协同起来为用户提供服务,使资源利用率达到最大化,其重点在于怎么有效地捕捉到无线网络的覆盖情况,并且为了保证业务的连续性,更重要的是在移动过程中对于未来时刻无线网络覆盖情况的预测,从而能够即时有效地对参与协同的终端做出判断。

分布式终端协同方式下,终端与终端之间往往具有一定的距离,并且终端所处的无线网络覆盖情况也可能会不同,如图 4 所示。当某一用户 A 使用携带的终端进行数据传输时,当其发现当前网络传输速度不能满足于他需要进行的业务或者当前没有可用的无线网络时,用户 A 会向其附近的用户 B 的终端发出请求,由用户 B 的终端接入其他网络来协助用户 A 的业务请求,而这便是分布式的终端协同方式。

这种分布式的终端协同可以看作类似于 Ad Hoc 网络

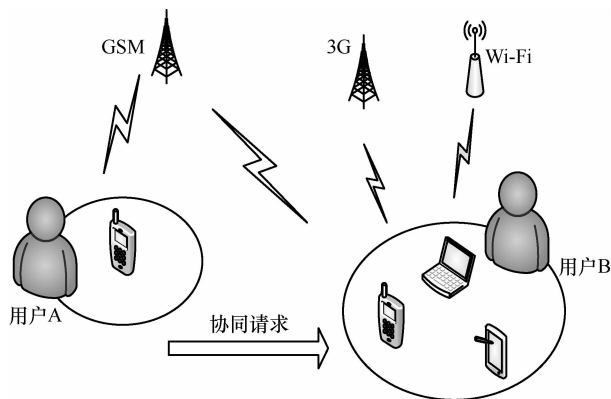


图 4 分布式终端协同

环境下多个移动节点间通过多跳的方式协同进行数据业务的传输,同时,每个移动节点除了进行节点群内部的通信,还要借助其他有基础设施的无线接入网络向外部传输数据。所以针对这种分布式的终端协同方式,为了能够让终端有效地协同达到最佳用户体验,在协同性预测方面,不仅需要对每个移动节点未来进入的网络或小区进行预测,同时应该结合类似 Ad Hoc 这类无基础设施网络环境下的移动性预测,即结合移动节点间的相对位置信息,选择最佳的相邻的协同终端,达到协同性预测的目的。

可以看出,在未来无基础设施网络与有基础设施网络的协同与融合将是移动泛在网络的发展趋势,所以考虑到有基础设施网络与无基础设施网络环境下的移动性预测技术侧重点的不同,为了在移动泛在网络环境下能够使终端群实现有效的协同机制,需要将基础设施网络与无基础设施网络环境下的移动性预测技术相结合,一方面对移动终端群组所处位置的网络覆盖情况进行预测,另一方面对于移动终端群组内部来说,其内部构成一个类似 Ad Hoc 的多跳传输网络,需要对移动终端间的相对位置进行预测,以便选择最佳的路由实现移动终端间的协同,从而最终达到协同性预测的目的。

4.3 结合用户需求的智能化预测

移动泛在网是以用户为中心的网络,使用户能够随时、随地、方便地体验到以用户为中心的个性化服务,因此,除了上述异构性预测和协同性预测,移动泛在网络环境下的移动性预测同时还需要为用户带来个性化的智能性预测。这里主要体现在对用户移动路径的推荐指导性预测,即为了使用户在移动过程中保证业务连续性以及终端网络资源利用率的最大化,可根据用户的需求及实际业务的 QoS 需求,结合上下文信息为用户推荐一条最佳路径。

对于最佳路径的衡量不仅仅是以以往的最短路径法则为标准,而是充分结合了终端信息及网络信息,以终端网络最佳匹配为原则的智能性预测。

上下文感知计算理论作为“普适计算”的核心子领域之一,使系统能够自动发现和利用位置、周围环境等上下文信息。由于上下文感知技术兼具“普适计算”和“个性化”两种优势,因此为了进一步提高路径推荐的精确度以及用户的满意度,将上下文信息引入移动泛在网络环境下的移动预测,一方面可以使系统根据上下文信息进行业务适配,另一方面可以综合考虑网络上下文信息及环境上下文信息,智能地为用户推荐一条网络终端匹配最佳路径,从而能够保证用户的最佳业务体验。总之,随着移动泛在网络在移动应用、电子旅游、智能医疗等众多领域的应用的发展,未来在智能性的预测方面,基于上下文感知技术,提取用户偏好,进行个性化的推荐将会成为潜在的发展趋势。

5 结束语

未来移动性预测技术研究是一种趋势,但是随着网络技术的发展,网络异构、终端协同以及智能化需求等问题是移动性预测技术能否在泛在网络环境下得到广泛应用的决定性因素。原有的移动性预测技术的应用环境相对单一,无法适用于多终端多网络的复杂环境,本文针对泛在网络环境的特点及业务需求,结合异构、协同及智能3个关键因素提出移动泛在业务应用下的移动性预测,通过将有基础设施网络环境下的移动性预测技术与无基础设施网络环境下的移动性预测技术的特点相结合,从而能够保证在移动泛在网络环境下基于预测信息实现无缝移动,提高用户体验。

参考文献

- 1 张平,纪阳,冯志勇.移动泛在网络环境.中兴通讯技术,2007(2): 58~62
- 2 Wolfson O, Xu B, Chamberlain S, *et al.* Moving objects databases: issues and solutions. Proceedings of the Tenth International Conference on Scientific and Statical Database Management, Capri, Italy, 1998
- 3 Tao Y F, Faloutsos C, Papadias D, *et al.* Prediction and indexing of moving objects with unknown motion patterns. Proceedings of the 2004 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Paris, France, 2004
- 4 Akyildiz I F, Wang W Y. The predictive user mobility profile framework for wireless multimedia networks. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 2004,12(6): 1021~1035
- 5 Wee-Seng S, Kim H S. QoS provisioning in cellular networks based on mobility prediction techniques. Communications Magazine, 2003, 41 (1): 86~92
- 6 Jeong T Y, Han S C, Song Y S, *et al.* Mobility prediction modeling and analysis for people in mobile wireless network. Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous Information Technologies and Applications (CUTE), Sanya, China, 2010
- 7 Chen C M, Pi D C, Fang Z R. Artificial immune algorithm applied to short-term prediction for mobile object location. Electronics Letters, 2012,48(17): 1061~1062
- 8 Tan C G, Chen S Q, Gong X X. Steady routing protocol with prediction in mobile Ad Hoc networks. Min-micro Systems, 2007(1)
- 9 Jin L, Li L Y, Zhu X Y. A multi-constraint QoS routing protocol with route-request selection based on mobile predicting in MANET. Proceedings of CISW 2007 International Conference on Computational Intelligence and Security Workshops, Harbin, China, 2007
- 10 Yu M, Malvankara A, Sub W, *et al.* A link availability-based QoS-aware routing protocol for mobile Ad Hoc sensor networks. Computer Communications, 2007,30 (18): 3823~3831
- 11 Xiao B L, Guo W, Liu J, *et al.* Pseudo gossip routing algorithm based link stability in mobile Ad Hoc networks. Journal on Communications, 2008,29 (6): 26~33
- 12 Chen J K, Chen C, Jan R H, *et al.* Expected link life time analysis in MANET under manhattan grid mobility model. Proceedings of the 11th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, Vancouver, British Columbia, Canada, 2008
- 13 Li H Z, Mukesh S H. ABRP: anchor-based routing protocol for mobile Ad Hoc networks. Wireless Personal Communications, 2007, 42(2): 277~300

【作者简介】



田洁,女,西安交通大学硕士研究生,主要研究方向为泛在网技术与应用。

赵季红,女,博士,西安邮电大学教授,主要研究方向为新一代宽带无线通信技术。

曲桦,男,博士,西安交通大学教授,主要研究方向为新一代宽带无线通信技术。

(收稿日期:2013-06-13)