

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.02.002

引用格式:孔令斌,王军选,孙长印.多网络共存下基于贝叶斯的垂直切换算法[J].电讯技术,2016,56(2):122-127.[KONG Lingbin,WANG Junxuan,SUN Changyin.A vertical handoff algorithm for multi-network coexistence based on bayesian dicision[J].Telecommunication Engineering,2016,56(2):122-127.]

多网络共存下基于贝叶斯的垂直切换算法*

孔令斌**,王军选,孙长印

(西安邮电大学 通信与信息工程学院,西安 710121)

摘要:针对目前的垂直切换技术普遍不能满足多网络下的切换问题,提出了一种改进的基于贝叶斯决策的垂直切换算法。首先根据接入终端网络的信号强度、网络负载、误码率和网络阻塞率以及用户业务对网络的实际需求偏好建立多条件相关的切换概率分布,计算出先验切换概率;然后通过贝叶斯决策算法计算出后验概率来进行判决比较,从而选取最优的接入网络。仿真结果表明,该算法不仅能有效地实现不同接入技术之间的垂直切换,从而减少不必要的切换,提高了切换成功的概率,而且还能在维持各网络平均负载达到 30%~40% 时减轻通信热点的阻塞情况,为用户提供更优的服务质量。

关键词:异构网络;网络协同;网络负载;贝叶斯决策;垂直切换

中图分类号: TN929.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-893X(2016)02-0122-06

A Vertical Handoff Algorithm for Multi-network Coexistence Based on Bayesian Decision

KONG Lingbin, WANG Junxuan, SUN Changyin

(School of Communication and Information Engineering, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China)

Abstract: To solve the problem that current vertical switching technologies generally cannot support vertical handover in multi-network handover, this paper proposes an improved vertical handover algorithm based on Bayesian Decision Theory. First, the handover probability distribution associated with multi-condition is established according to the signal strength of access network, bit error rate (BER), blocking rate and actual demand on network from different customer service to calculate a priori handover probability. Then, the posterior probability is calculated on account of the Bayesian Decision Algorithm to perform a decision comparison, thereby selecting an optimal access network. Simulation results indicate that the algorithm can not only effectively achieve vertical handover among the different wireless access technologies, avoid needless handover, improve the successful probability of handover, but also reduce the blocking of communication hotspots so as to provide users with better quality services when an average load of each network reaches 30%~40%.

Key words: heterogeneous network; multi-network collaboration; network load; Bayesian decision; vertical handover

* 收稿日期:2015-04-02;修回日期:2015-07-03 Received date:2015-04-02;Revised date:2015-07-03

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2014AA01A703);陕西省自然科学基金资助项目(2014JM8317,2013JK1045);中兴项目产业资助项目

Foundation Item: The National High-tech R&D Program of China (863 Program) (2014AA01A703); The Natural Science Foundation of Shaanxi Province (2014JM8317, 2013JK1045); The ZTE Forum Foundation of ZTE Corporation

** 通信作者: konglingbin1989@163.com Corresponding author: konglingbin1989@163.com

1 引言

近年来,随着移动通信网的飞速发展以及智能终端的普及,数据业务流量呈现爆炸性的增长。为了应对用户对于无线网络的带宽需求,单一的网络连接已经无法满足用户的需求,其中可能的解决方案是多网络协同,利用多个网络建立连接并行传输数据,从而为用户提供更大的带宽。由于现在的网络结构呈现出重叠覆盖的特性,融合的异构网络虽能同时支持多种不同类型的业务实现用户便捷的接入、更流畅的用户体验,但是不同的接入网技术由于网络制式的特点、覆盖范围不同等多方面因素,造成了多方面的问题:一方面是用户单一的终端在异构网络间漫游时面临切换决策问题,即在网络状况发生变化时终端是否有必要发生切换以及发生怎样的切换;另一方面是随着应用需求、用户偏好和网络负载等因素可能阻止用户切换到更优的接入网络。因此,现在所面临的主要问题是如何在复杂的异构网络情况下,协同好各种网络资源给用户提供更好的业务体验。

目前,绝大多数的异构网中的垂直切换算法考虑情况都很简单,其中有基于信号强度以及灰度逻辑的切换算法^[1]、层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)^[2]以及基于信干噪比 (Signal-to-Interference plus Noise Ratio, SINR) 的垂直切换算法^[5]。垂直切换是移动管理的核心,切换目标网络的选择可归结为多属性决策问题,在众多网络中选择出满足应用需求和用户偏好的最优网络。但是大多数的垂直切换算法的切换判决准则都是以单一的网络属性因子,而且在切换时不会考虑用户的业务偏好和对网络的实际需求。文献[3]结合了传统的基于信号强度累积量和距离准则的垂直切换算法,提出了自适应的垂直切换算法,但没有考虑影响垂直切换决策的其他因素,如用户偏好、网络阻塞率等。文献[4]提出了一种基于车联网的异构无线网络环境下进行垂直切换算法,使切换的目标网络是当前最优的接入网络。尽管上述文献取得了较好的研究成果,但由于异构网络环境的独特性、现在业务类型的多样化以及对用户对网络的偏好和终端运动状态等多条件下的考虑还不够全面,一些简单加权策略 (Simple Additive Weight, SAW) 并不能真正意义上体现用户对网络的需求,而且上述研究成果在异构网络环境下缺乏验证。

为了解决上述问题,本文把终端在 WLAN (Wireless Local Area Network)、UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) 和 LTE 3 种不同网

络环境下作为研究对象进行垂直切换,并且充分考虑了应用业务对网络质量的需求,以实现自适应调整业务对网络属性因子需求的权重,从而做出有效的切换判决,并在此基础上优化适合于异构网中的贝叶斯垂直切换算法。

2 基于贝叶斯决策的垂直切换方法

本文通过改进贝叶斯决策的垂直切换方法 (如图 1 所示),充分考虑了不同应用业务所需的网络属性因子的权重,根据网络属性因子的权重进行判决切换,以交互性业务为例,基于不同的网络属性和终端运动状态进行分析,通过对多属性条件相关分布函数得到发生切换的先验切换概率,再由贝叶斯垂直切换决策算法得到后验概率;最后通过对切换概率进行比较,从而选择最优目标网络进行切换。

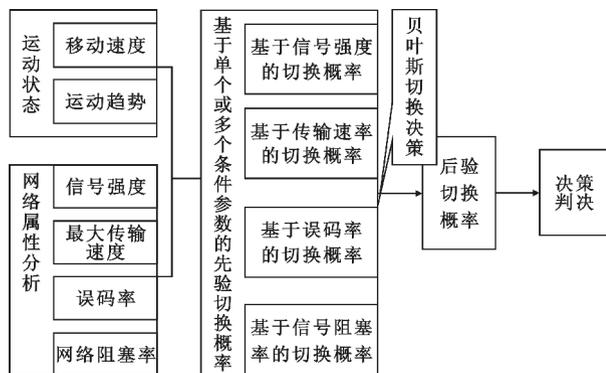


图 1 基于贝叶斯决策的垂直切换方法

Fig. 1 The vertical handover method based on Bayesian decision

2.1 基于业务需求的网络属性因子

如何在复杂的异构网络中为用户提供最优的服务是当前急需解决的问题。随着用户业务的多样化,使得用户服务需求变得越来越高。针对网络的垂直切换判决应根据用户对网络服务性能的不同需求,选择能为当前用户提供最优的网络属性。其中相关的属性因素可以综合地概括为网络状况及用户本身的运动趋势,基于业务类型的多属性垂直判决算法^[6],通过对适合评估当前业务的网络属性设置门限对目标网络筛选,然后与贝叶斯切换准则相结合选出最优网络进行垂直切换。由于不同的用户有着不同的偏好和业务需求,导致了多样化的业务类型,当用户进行不同的业务时,对网络的 QoS (Quality of Service) 的要求^[7]也不同。

2.2 网络属性参数定义和分析

影响异构无线网垂直切换的网络属性参数有信

号接收强度 (Received Signal Strength, RSS)、网络传输速率、误码率和网络阻塞率 (Blocking Probability), 下面给出 4 种网络参数的具体分析。

(1) 信号接收强度

信号强度反映了当前信道的质量, 是触发垂直切换一个最基本的条件。信号强度的表达式为

$$RSS(d) = K_1 - K_2 \lg(d) + u(x). \quad (1)$$

式中: K_1 是网络发送功率; K_2 是网络路径损失因子; d 表示终端与接入点距离; $u(x)$ 为服从参数 $(0, \sigma)$ 的高斯随机分布函数。

(2) 网络最大传输速率

传输速率是网络选择的一个重要指标, 直接影响到终端上当前业务的质量。根据香农定理^[9]可知, 信道的最大传输速率为

$$C = W \cdot \lg\left(1 + \frac{S}{n}\right). \quad (2)$$

式中: W 是频带宽度; $\frac{S}{n}$ 是信噪比。

(3) 误码率 (Bit Error Rate, BER)

网络的误码率表明网络不能满足当前业务的需求, 当高于一定阈值时, 为计算误码率, 这里采用一般情况下服从高斯随机分布的噪声, 终端到基站的距 $d_k (k=1, 2, \dots)$, BER 是信噪比 (Signal-to-Noise Ratio, SNR) 的函数, 可以近似地得到

$$SNR(k) = \frac{RSS(k)}{I(k)}, \quad (3)$$

$$BER(k) = Q(\sqrt{SNR(k)}). \quad (4)$$

式中: $I(k)$ 为干扰信号强度; $Q(x)$ 服从 $(0, 1)$ 的高斯分布; $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ 。

(4) 网络阻塞率 (P_{bk})

在异构网络环境下选择无线网络接入时必须考虑网络阻塞率的影响。关于网络阻塞率的数学模型, 采用文献[10]中提出的网络阻塞率的数学模型研究贝叶斯算法。在垂直切换场景下对网络阻塞率的影响公式如下:

$$P_{bk} = \frac{\rho_n^{N_n} (1 - \rho_n)}{1 - \rho_n^{N_n+1}}. \quad (5)$$

式中: $\rho_n = \frac{\theta_n \lambda}{\mu}$ 为有效切换业务负荷; θ_n 为用户切换至网络 n 的业务百分比; λ/μ 为当前切换业务负荷; λ 为切换业务的到达率; μ 为切换业务的离去率; λ 和 μ 服从泊松分布; $N_n = \frac{B_n}{D}$, B_n 为网络负载; D 为用户业务平均传输速率。由于在确定目标切换网

络后, 终端中所有的业务都将切换至目标网络, 因此此时 $\theta_n = 1$ 。由式(5)不难计算出两种算法下的网络阻塞率

$$P_{bk} = \frac{(1 - \frac{\lambda}{\mu})}{1 - (\frac{\lambda}{\mu})^{N+1}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^N. \quad (6)$$

2.3 多条件切换概率分布

根据当前业务对网络的需求通过选择最适合当前节点所承载业务的目标网络, 该网络是否能满足触发越区切换的条件, 根据上述公式求出终端在当前的运动趋势下所需求的网络属性因子的权值, 并通过设置门限对备选网络进行筛选, 选出符合该权重比例范围内的最优接入网络。基于上述分析, 这里给出单参数条件和多参数条件下发生的切换概率的相关性分析。

(1) 基于信号强度的切换概率

$$P_1 = P(RSS_B(d) > \eta).$$

式中: $RSS_B(d)$ 为目标切换网络信号强度; η 表示终端接入网络所需要的最小信号强度阈值。

(2) 基于误码率的切换概率

$$P_2 = P(BER(k) < \tau).$$

式中: $BER(k)$ 是目标切换网络误码率; τ 是满足终端业务需要的最大误码率。

(3) 基于传输速率的切换概率

$$P_3 = P(C_B > C_\phi).$$

式中: C_B 是目标网络最大传输速率; C_ϕ 是能支持当前业务所需要的最小传输速率。

(4) 基于阻塞率 (网络负载) 的切换概率

$$P_4 = P(P_{bk} < \varepsilon).$$

式中: P_{bk} 是目标切换网络的网络负载; ε 是满足终端业务需要的最大阻塞率。

由以上分析可知, P_1 概率分布由信号强度的分布所确定, 而 P_2 与 P_3 的分布与信号强度具有很高的相关性并由信号强度分布和干扰信号分布所共同确定, P_4 仅与当前网络负载有关。经过上述分析, 可以给出切换的先验概率为

$$p_{th} = P(RSS_B(d) > \eta, BER(k) < \tau, C_B > C, P_{bk} < \varepsilon). \quad (7)$$

2.4 基于贝叶斯决策的垂直切换算法

由于在进行垂直切换决策的时候, 我们往往希望切换后的接入网络是最优的, 从这样的需求出发, 利用贝叶斯决策算法在一定条件下可以得到最合适的决策。2.3 节已经给出了以切换的两种状态 ϕ_1 、

ϕ_2 为随机变量的先验概率,其中 P_{in} 表示发生切换的概率, P_{out} 表示不发生切换的概率,且有 $P_{\text{in}}+P_{\text{out}}=1$ 。一般情况下发生网络切换的决策为 $P_{\text{in}}>P_{\text{out}}$;反之则不作出切换的决策。

倘若仅按照上述的先验概率来进行决策切换,就会容易把所有能切换网络都归为一种状态,达不到区分或择优的目的,所以需要引入网络优先级这一公认的主动条件来共同决策切换。在异构网中进行业务传输时,能够提供较高的数据速率是 WLAN 网络,它可以使用户享受到低费用的上网下载等网络业务,因此给予它较高的网络优先级。对于 UMTS 网络给予次网络优先级,而相对于带宽较小和费用偏高的 LTE 蜂窝网络给予低优先级^[8]。

2.4.1 基于贝叶斯决策的目标网络选择

为了对覆盖区域的多个目标网络能否切换进行准确区分,找出哪些目标网络能够满足切换的需求,下面给出基于贝叶斯的多网络能否切换的准则。

令 x_1, x_2, x_3 表示接入 3 种网络 C_1, C_2, C_3 的切换状态,设定网络优先级为 $C_1 > C_2 > C_3$, 则会有 $P(x_1) > P(x_2) > P(x_3)$ 。这里已知状态条件概率: $P(x_1 | \phi_1)$ 是发生切换下接入到网络 x_1 的条件概率, $P(x_1 | \phi_2)$ 是未发生切换下接入到网络 x_1 的条件概率。利用贝叶斯定理

$$P(\phi_1 | x_1) = \frac{P(x_1 | \phi_1)P(\phi_1)}{\sum_{i=1}^2 P(x_1 | \phi_i)P(\phi_i)} \quad (8)$$

即得到的条件概率 $P(\phi_i | x_1)$ 称为切换状态的后验概率,基于后验概率的决策为如下:

(1) 当 $P(\phi_1 | x_1) > P(\phi_2 | x_1)$ 时,则把网络 x_1 状态归类于 ϕ_1 ,则切换到 C_1 网络;

(2) 当 $P(\phi_1 | x_1) < P(\phi_2 | x_1)$ 时,则把网络 x_1 状态归类于 ϕ_2 ,则不切换到 C_1 网络。

因此,可以基于上述分析推出:如果 $P(x_1 | \phi_1)P(\phi_1) > P(x_1 | \phi_2)P(\phi_2)$ 时,则把网络 x_1 状态归类于状态 ϕ_1 ,则认为目标网络切换到 C_1 网络;反之,如果 $P(x_1 | \phi_1)P(\phi_1) < P(x_1 | \phi_2)P(\phi_2)$ 时,则把网络 x_1 状态归类于状态 ϕ_2 ,则认为目标网络不能切换到 C_1 网络。

根据上述分析可知,通过 $P(x_i | \phi_1)P(\phi_1)$ 与后验比较概率 $P(x_i | \phi_2)P(\phi_2)$ 进行比较后,可以将目标网络区分成两类,一类是目标网络可以满足切换需求的,一类是目标网络不满足切换需求的。接下来就是针对在可切换的目标候选网络中,如何选择最优的接入网络进行分析。

2.4.2 基于贝叶斯决策的目标切换网络选择

假设可选候选切换目标网络为多个时,即目标候选网络同时满足需求 $P(x_i | \phi_1)P(\phi_1) > P(x_i | \phi_2)P(\phi_2)$ 时,基于贝叶斯决策的最优选择策略应如下:

(1) 如果 $P(x_1 | \phi_1)P(\phi_1) > P(x_2 | \phi_1)P(\phi_1)$ 且 $P(x_1 | \phi_1)P(\phi_1) > P(x_3 | \phi_1)P(\phi_1)$ 时,选择候选 C_1 网络作为切换网络;

(2) 如果 $P(x_2 | \phi_1)P(\phi_1) > P(x_1 | \phi_1)P(\phi_1)$ 且 $P(x_2 | \phi_1)P(\phi_1) > P(x_3 | \phi_1)P(\phi_1)$ 时,选择候选 C_2 网络作为切换网络;

(3) 如果 $P(x_3 | \phi_1)P(\phi_1) > P(x_1 | \phi_1)P(\phi_1)$ 且 $P(x_3 | \phi_1)P(\phi_1) > P(x_2 | \phi_1)P(\phi_1)$ 时,选择候选 C_3 网络作为切换网络。

作为候选切换网络,可以通过对以上可能出现的 3 种情况进行分析,判定出最佳的候选接入网络。在实际应用中,可以扩展到 4 个及以上的更多目标候选网络的选择判定方法。

3 仿真实验及结果分析

为了保证对该算法进行实时有效的验证,仿真场景必须结合实际的网络应用情况。综合各个场景中对各种算法进行比较验证之后,才能做出对算法的客观评价。在本文中,通过构建用户的仿真运动场景,采用 MATLAB 仿真软件来对异构网络环境中贝叶斯垂直切换方法进行验证。

3.1 实验参数设置

为了满足以上要求,本文给出了如图 2 所示的仿真场景。为了便于对数据的采集和结果的分析,移动终端以速度 $V=1$ m/s 从 A 点向 B 点直线行驶。其中网络仿真参数设置如下:移动终端的坐标为 $(-500, 0)$ m,无线局域网(WLAN)的覆盖范围是以 $(350, 100)$ m 为中心,以 100 m 为半径的圆区域;移动通信系统接入(UMTS)的覆盖范围是以 $(-350, -100)$ m 为中心、以 200 m 为半径的圆区域;LTE 蜂窝网络的覆盖范围是以 $(0, 300)$ m 为中心、以 500 m 为半径的圆区域。接入带宽分别为 27 Mb/s、45 Mb/s、2 Mb/s,发送功率分别为 10 dBm、25 dBm、30 dBm,路径损失分别为 20 dBm、35 dBm、33 dBm,参数 σ_1 为 6 dBm、8 dBm、6 dBm;最大误码率阈值 BER 为 0.006,支持当前业务所需最小传输速率 C_ϕ 为 120 kb/s。最小信号强度阈值 η 为 -110 dBm,干扰信号强度为 -130 dBm+ $u(x)$, $u(x)$ 为服从参数为

$(0, \sigma_2)$ 的正态随机分布, σ_2 为 10 dBm。

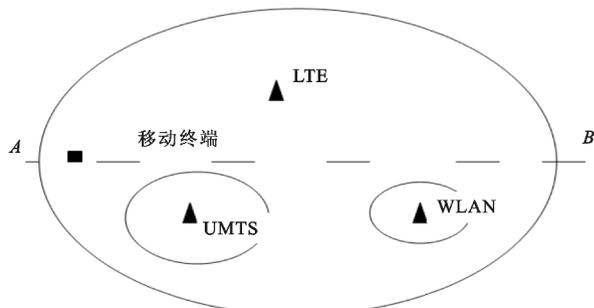


图 2 仿真终端运动场景
Fig. 2 The scene of terminal movement

3.2 实验结果及分析

在仿真实验中,通过 2.4.1 节计算得出移动终端在各个网络下的切换概率 $P(x_1 | \phi_1) = 0.4$, $P(x_2 | \phi_1) = 0.32$, $P(x_3 | \phi_1) = 0.28$,每隔 1 s 终端进行一次切换决策计算。

3.2.1 切换情况

本文结合 LTE、UMTS 和 WLAN 3 种无线网络在不同方面的性能差异,针对当前业务类型在不同网络环境中对 3 种不同的切换算法做出的垂直切换进行对比分析。图 3 给出了基于当前交互类业务下仿真实验得到的网络切换的具体情况,其中横坐标表示终端的运动时间,纵坐标表示终端对网络的切换结果。

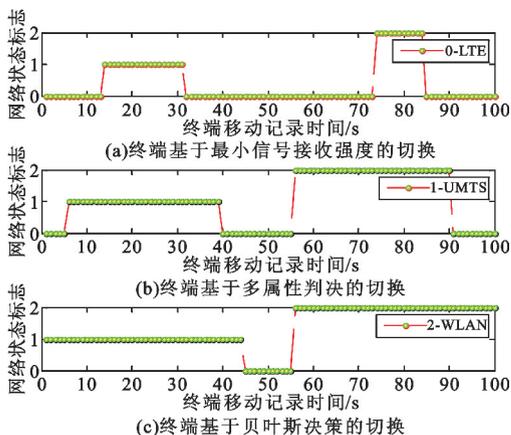


图 3 终端在异构网中基于不同判决策略的切换
Fig. 3 Terminal switch between different judgment strategies in heterogeneous networks

3.2.2 切换概率分析

在图 3 中,通过比较在异构网络中终端基于不同判决策略的切换次数,结果发现基于多属性判决的垂直切换次数与基于接收信号强度的切换没有多

大变化,但是能够较早地切换至网络属性较好的网络中,能够给用户提供的网络体验,说明算法更具有及时性。但是从基于贝叶斯决策的切换看到切换次数明显减少,而且终端在属性好的网络中滞留时间最长。这不仅能够有效减小切换次数,减小系统信令开销,而且能在一定程度上给用户提供最优的网络体验。

从图 4 中看出,在切换业务负荷较重的情形下,考虑到各网络的负载均衡,基于贝叶斯决策的切换可以使终端尽可能地接入负载状况良好的网络,减轻了通信热点小区的阻塞情况,为更多的用户提供满足服务质量的服务。这也从侧面反映了贝叶斯切换算法比传统算法在缓解网络负载压力下的优势。

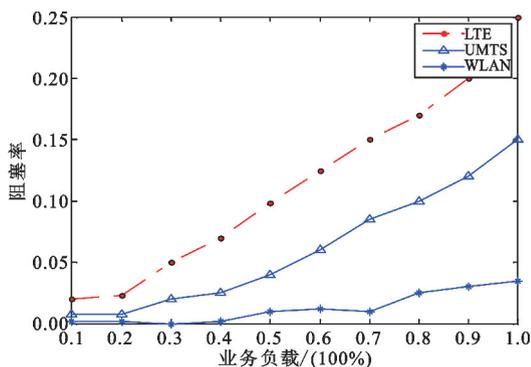


图 4 异构网络中网络负载与阻塞率的关系
Fig. 4 The relationship between the network load and blocking rate in heterogeneous networks

在图 5 中可看到,随着终端移动速度的不断增大,在各切换策略下的切换概率均有所下降,但是基于贝叶斯的切换准则始终是低于其他两种切换准则的,说明了本文改善算法能够减少频繁的切换,减小信令开销使网络的性能较好,给用户提供更好的服务质量和体验效果。

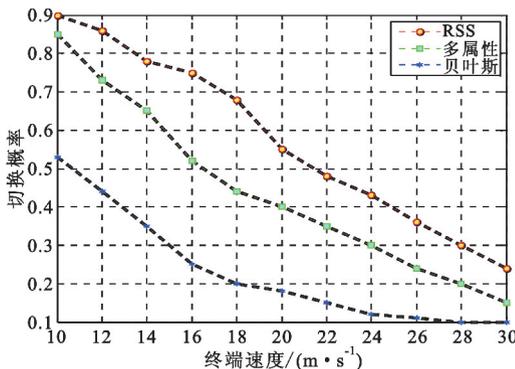


图 5 移动终端在不同速度下不同策略的切换概率
Fig. 5 The terminal switching probability under the different strategies in different speed

4 结束语

本文通过对贝叶斯的垂直切换算法进行优化,使该算法更适用于实际的应用场景。该算法利用终端在 WLAN、UMTS 和 LTE 不同无线接入技术之间的垂直切换,充分考虑了应用业务所需的网络属性因子的权重,通过贝叶斯算法来选择最优网络接入,有效地防止了无意义的切换,使得判决时刻更为科学。仿真表明,该算法不仅能有效地实现不同接入技术之间的垂直切换,避免了过多的切换,提高了切换成功的概率,而且还能保证终端所在网络是当前最优的接入网络。目前该切换技术即将应用于异构网络测试中,但是针对各种不同业务类型和多用户情况下的网络切换,还有待研究。因此,下一步的工作重点将是如何把用户的接入偏好引入到垂直切换方法中,以进一步提高异构网络环境下终端的网络切换性能。此外,在 5G 网络中实现双连接的网络切换,保证用户的无缝切换也是重要的研究方向。

参考文献:

- [1] KHATTAB O, ALANI O. Algorithm for seamless vertical handover in heterogeneous mobile networks [C]//Proceedings of 2014 IEEE Science and Information Conference (SAI). London: IEEE, 2014: 652-659.
- [2] MUKHERJEE S, ISHII H. Energy efficiency in the phantom cell enhanced local area architecture [C]//Proceedings of 2013 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). Shanghai: IEEE, 2013: 1267-1272.
- [3] 陶洋, 江彦鲤, 陈雷成, 等. 基于业务需求的速度自适应垂直切换算法 [J]. 计算机应用, 2014, 34 (5): 1236-1238, 1262.
TAO Yang, JIANG Yanli, CHEN Leicheng, et al. Speed vertical handover algorithm based on business needs [J] Adaptive Computer Applications, 2014, 34 (5): 1236-1238, 1262. (in Chinese)
- [4] HOSSAIN E, CHOW G, LEUNGET V C M, et al. Vehicular telematics over heterogeneous wireless networks: a survey [J]. Computer Communications, 2010, 33 (7): 775-793.
- [5] LIU S M. A simple additive weighting vertical handoff algorithm based on SINR and AHP for heterogeneous wireless networks [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2011, 1 (1): 347-350.

- [6] Pedersen K I, Michaelsen P, Rosa C, et al. Mobility enhancements for LTE-advanced multilayer networks with inter-site carrier aggregation [J]. IEEE Communication Magazine, 2013, 51 (5): 64-71.
- [7] YLIANTTILA M, HOSSAIN E, CHOW G, et al. Vehicular telematics over heterogeneous wireless networks: a survey [J]. Computer Communications, 2010, 33 (7): 775-793.
- [8] LIU F, ZHU S, CHAI Z, et al. Immune optimization algorithm for solving vertical handoff decision problem in heterogeneous wireless network [J]. Wireless Networks, 2013, 19 (4): 507-516.
- [9] ZHU J, XU L, YANG L, et al. An optimal vertical handoff decision algorithm for multiple services with different priorities in heterogeneous wireless networks [J]. Wireless Personal Communications, 2015, 83 (1): 527-549.
- [10] PAN S, YE Q, LIU S M. Equivalent spectral bandwidth concept in ubiquitous networks and applications in vertical handoff algorithms [J]. Journal on Communications, 2012, 33 (3): 130-136.

作者简介:



孔令斌(1989—),男,山西晋中人,硕士研究生,主要研究方向为宽带无线通信技术;
KONG Lingbin was born in Jinzhong, Shanxi Province, in 1989. He is now a graduate student. His research concerns wideband wireless communications technology.

Email: konglingbin1989@163.com

王军选(1970—),男,陕西西安人,2002年于西安科技学院获硕士学位,2005年于北京邮电大学获博士学位,现为教授,主要研究方向为下一代无线通信技术;

WANG Junxuan was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1970. He received the M. S. degree from Xi'an Institute of Technology and the Ph. D. degree from Beijing University of Posts and Telecommunications in 2002 and 2005, respectively. He is now a professor. His research concerns next generation mobile communication technology.

Email: wangjx@xupt.edu.cn

孙长印(1963—),男,陕西西安人,2000年于西安电子科技大学雷达信号处理重点实验室获博士学位,现为副教授,主要研究方向为下一代无线通信技术。

SUN Changyin was born in Xi'an, Shaanxi Province, in 1963. He received the Ph. D. degree from Xidian University in 2000. He is now an associate professor. His research concerns next generation mobile communication technology.

Email: changyin_sun@163.com