

doi: 10.3979/j.issn.1673-825X.2014.06.016



# 一种基于优先级的异构无线网络切换算法

蒋 青,任行帆,张佳星

(重庆邮电大学 重庆市移动通信重点实验室,重庆 400065)

**摘 要:** 无线网络对性能的要求促进了网络融合的必然性,为了解决异构无线网络切换过程中存在的问题,提出一种基于优先级的异构无线网络切换算法。该算法包含 2 个部分,基于业务优先级对用户进行排队,可以有效地解决群组用户同时切换所可能造成的网络拥挤。在网络判决过程中,对判决参数分层处理,分步计算和分析,可以降低传统算法中复杂度和计算量过高的问题。仿真结果表明,改进算法与传统的切换算法相比,该算法不仅能够改善网络拥挤,减少切换时延,提高切换成功率,而且可以降低切换判决过程所消耗的资源,改进后的算法能够提高用户满意度及网络性能。

**关键词:** 异构无线网络; 切换; 优先级; 模糊逻辑

中图分类号: TN919

文献标识码: A

文章编号: 1673-825X(2014)06-0826-06

## A vertical handoff algorithm based on priority for heterogeneous wireless networks

JIANG Qing, REN Xingfan, ZHANG Jiaxing

(Chongqing Key Lab of Mobile Communication Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, P. R. China)

**Abstract:** The demand for performance of wireless networks promotes the inevitability of network integration. In order to solve these problems in the process of heterogeneous wireless networks, a vertical handoff algorithm based on priority for heterogeneous wireless networks is proposed. The algorithm consists of two parts, and users are queued according to the priority of the business, which can solve the problem that switches of group users at the same time are likely to cause network congestion. In the process of the network decision, hierarchical processing for judgment parameters, calculation and analysis step by step, can reduce the problem of high complexity and computation in the traditional algorithm. Simulation results show that the improved algorithm not only improves the network congestion, reduces switch delay, increases the success rate, but also can reduce the amount of resources in the process of switching decision. Overall, the improved algorithm can improve the customer satisfaction and network performance.

**Key words:** heterogeneous wireless networks; handoff; priority; fuzzy logic

## 0 引 言

近年来,移动通信技术得到高速的发展,不同网络技术的融合作为一种能够提高网络性能的方法,取得了广泛的认同。在异构网络中,多种无线网络

间需要保持通信的连续性,这就要求各种无线接入技术能够相互协调和集成,因此,如何为用户提供移动性管理以保证网络间的无缝切换成为了下一代异构网络最紧迫的需求之一,切换管理作为移动性管理的重要组成部分,选择一种好的切换算法变得至

收稿日期: 2014-09-09 修订日期: 2014-11-02 通讯作者: 任行帆 renxingfan@sina.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(61071196)

**Foundation Item:** The National Natural Science Foundation of China (61071196)

关重要<sup>[1]</sup>。

传统的蜂窝网络,小区间的切换采用同一种接入技术,称之为水平切换。而异构网络之间的切换,大多数采用的是不同的接入技术,为了同传统的切换技术加以区别,被称为垂直切换。垂直切换技术相对于水平切换技术来说,对整个切换系统的要求更高,并且实现过程更加复杂。

垂直切换过程可以划分为3个部分,系统发现阶段、切换判决阶段和切换执行阶段。在系统发现阶段,移动终端周期性搜索当前可用的无线网络;在切换判决阶段,终端或网络根据发现阶段获知的网络信息、用户喜好以及业务特性来确定切换的目标网络及切换执行时刻点;在切换执行阶段,移动终端进行当前网络与目标网络之间的切换,建立与新的网络接入点的连接,断开原有连接<sup>[2]</sup>。

## 1 相关研究

文献[3]提出了一种新的垂直切换方法。该方法改进了基于信号强度(received signal strength, RSS)的切换触发机制,并且采用基于模糊逻辑的归一化量化决策算法,从可用的接入网中选择最优的切换目标网络。文献[4]给出了基于层次分析法在多网融合下的网络选择算法,第1层的决策参数包括吞吐量、时效性、成本、安全性和可靠性;第2层中的时效性由延迟、响应时间等参数组成,可靠性由误码率、丢包率等参数组成。文献[5]采用基于用户多应用的代价函数对接入网络进行评估与选择,综合考虑移动终端当前的电池电量,判断当前业务是否需要网络切换,使移动终端能自适应地进行切换判决。文献[6-9]则采用模糊逻辑算法对网络间的切换进行判决。

通过对现有文献进行分析和总结,目前的切换算法主要存在2个问题:①算法针对的都是普通情况下场景,并不一定适用于特殊的场景中;②算法的复杂度较高。目前算法大多考虑的是网络的性能,忽略了算法的计算量和复杂度的增加。而在实际的生活,使用复杂度较高的算法在性能上可能得到一定程度的提升,但是以庞大的用户人数作为基础,这些复杂度较高的算法会对基站和用户终端造成较大的压力,消耗更多的能源,因此,这些算法并不利于在现实中普及。在考虑实际利益的要求下,垂直切换判决算法应尽可能的精简,减少算法的计算量。

在本文中,针对异构网络中群组用户的同时切

换这一场景,可能造成网络的极度拥挤,降低网络的切换成功率,进而造成网络的瘫痪,提出一种改进的异构无线网络切换算法。

这里的群组用户指的是在一定时间内具有相同运动轨迹的多个用户,例如列车上的所有用户。首先在算法中根据业务对用户进行优先级分类,对分类后的用户排队处理,从而有效地改善因同时切换所造成的网络拥挤,提高切换的成功率。

其次,在网络判决过程中,选择模糊逻辑算法作为判决算法。模糊逻辑算法的优点在于它是一种智能化、拟人化的判决算法,模仿人的逻辑进行判决,在可信度和满意度方面有较高的保障,但模糊逻辑算法也具有明显的缺点,它的规则库较为庞大,模糊规则建立时十分复杂。为了改善这一缺点,对判决参数进行分层,将与网络性能有关的参数采用接近理想方案的序数偏好算法(technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS)计算后,作为一个参数(网络性能),在上一层中与用户有关的主观因素(用户喜好、资费)通过模糊逻辑算法进行判决,确定切换的目标网络。改进的算法能够降低切换判决的复杂性,减少计算量,保证高优先级业务的稳定性,整体上使网络资源分配更加合理。图1为改进算法的网络判决模型。

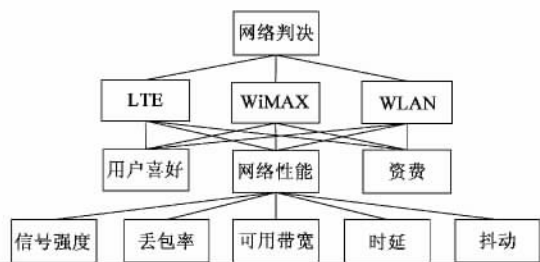


图1 网络判决算法模型

Fig. 1 A model for network decision algorithm

## 2 判决参数分析

在改进的网络切换判决算法中,用作输入量的参数可以分为两类:①与用户有关的主观因素,包括用户喜好、资费。用户喜好指用户对各种网络的倾向,影响用户对网络倾向的方面有很多,资费就是其中重要的一方面;②与网络性能相关的参数,包括RSS、丢包率、可用带宽、时延和抖动。

RSS指终端从蜂窝网的基站或无线局域网的接入点处接收到的信号强度,以收到的信号功率作为衡量的标准,反映了用户网络的质量。当RSS低于门限值时,用户的通信质量较差,更有可能发生通信

中断等现象。通常来说,终端的 RSS 与接入点的发射功率、两者之间传输路径造成的损耗有关系<sup>[10]</sup>。由于蜂窝网与无线局域网在网络覆盖范围和发射功率存在较大的差别,因此,终端接收到的 RSS 差别也较大,需要为不同的网络设置不同的判决门限值。在改进算法中,有 2 个地方涉及到 RSS 的计算。在系统发现阶段,对不同的网络设置不同的判决门限,用以筛选可以切换的候选网络,直接剔除质量比较差的网络。在网络判决阶段, RSS 作为与网络性能相关的参数,一定程度上反应了网络当前的状况,使用 TOPSIS 算法计算候选网络的网络性能时, RSS 作为一个输入量,使 TOPSIS 算法的计算结果具有动态性。

可用带宽指的是网络当前最大传输速率,是系统性能的关键性标志之一。较大的可用带宽表示网络的传输速率更快,是用户对网络最主要的要求。系统的呼叫阻塞率和中断概率是系统性能方面的重要标志,系统的可用带宽不足是造成呼叫阻塞和中断的主要原因。同时,可用带宽能够反映网络的当前负载,与网络的呼叫阻塞率和中断概率息息相关<sup>[6]</sup>。

连接时延指的是数据从发送端到接收端所花费的时间。语音业务相比于数据业务,对带宽的要求较小,但对时延的要求较高。丢包率和抖动也是反应网络性能的性能参数,在这里不做详细的介绍。

### 3 判决参数归一化

在系统判决阶段中,为了确定切换目标网络,需要比较不同网络的性能。以 RSS 为例,由于不同的网络差别较大,为了使网络性能比较更加公平、严谨,需要对判决参数归一化处理。这里对系统可用带宽、RSS、时延、丢包率和抖动进行归一化处理。

#### 3.1 系统可用带宽

不同网络的最大带宽差别较大,为了保证切换判决的公平性,在比较各网络的性能之前,需要对网络的可用带宽进行归一化处理。文献 [11] 给出了一种带宽归一化的方法

$$G_i = \frac{B_{ij}}{B_i} \quad (1)$$

(1) 式中:  $B_i$  表示网络  $i$  的总带宽;  $B_{ij}$  表示网络  $i$  当前的可用带宽;  $G_i$  表示当前的可用带宽占网络总带宽的比例。

#### 3.2 信号强度

上文所说,终端接收到的不同网络的 RSS 差别

较大,应该根据不同网络当前的 RSS 和最大信号强度,对 RSS 归一化处理。文献 [12] 中把归一化后的网络  $i$  的 RSS, 定义为

$$S_i = \frac{P_i^c - P_i^{\text{th}}}{P_i^{\text{max}} - P_i^{\text{th}}} \quad (2)$$

(2) 式中:  $P_i^{\text{max}}$  表示网络  $i$  的最大信号强度;  $P_i^c$  表示终端接收到的信号强度;  $P_i^{\text{th}}$  表示网络  $i$  的接收门限值。  $S_i$  通过计算终端当前信号强度和最大信号强度,较好地反映了网络当前的信号质量。

#### 3.3 时延

不同网络使用不同的资源管理机制和用户请求接入机制,因此,网络的连接时延也不同。文献 [11] 给出了时延归一化方法为

$$F_i = \begin{cases} 1, & d_a \leq L_d \\ \frac{U_d - d_a}{U_d - L_d}, & L_d < d_a < U_d \\ 0, & d_a > U_d \end{cases} \quad (3)$$

(3) 式中:  $d_a$  为目标网络的连接时延;  $L_d$ ,  $U_d$  分别为当前业务所允许的最小和最大时延要求。(3) 式可以有效地评估不同网络的时延状况。

对丢包率和抖动的归一化参照时延处理方法,不做详细介绍。

## 4 改进算法流程

#### 4.1 优先级排队

根据不同的业务对带宽和时延的要求不同,将所有业务分为 4 类:语音业务;数据业务;视频业务;后台业务。通常,语音业务对带宽要求较低,对传输时延要求较高;数据业务跟语音业务正好相反;而视频业务对带宽和时延的要求都较高;后台业务对带宽和时延都较低。

因为群组中多个用户发起切换的时间点完全一致或近似一致,所以,有可能造成切换请求的碰撞,进而造成切换的失败,增大切换所花费的时间。为了改善这一缺点,引入优先级排队的思想,根据业务类型对请求切换的用户进行排队,视频业务的优先级最高,语音业务的优先级其次,数据业务的优先级较低,后台业务的优先级最低。

对同一业务类型的用户,随机生成等待时间,根据等待时间从小到大排序,依据排队的顺序进行切换。为了实现这一目的,基站中需要判断请求切换的用户是否属于群组用户,并进行优先级分类和排队,在切换过程中起辅助的作用。

## 4.2 网络性能计算

对不同网络设置不同的门限,如果网络的RSS值大于判决门限,则将网络加入候选网络之中。为了降低算法的计算量,将与网络性能有关的5个参数使用TOPSIS算法进行计算,它们分别是RSS、丢包率、可用带宽、时延和抖动。这是因为TOPSIS算法比较合理,是异构网络中广泛使用的一种算法,并且复杂度较低。

TOPSIS算法的原理是通过计算候选网络与最优、最差方案的距离,选择与最优方案距离最小,与最差方案距离最大的候选网络为判决结果。最优解决方案由最优属性值构成,最差解决方案由最差属性值构成<sup>[13]</sup>。

$$A_{\text{TOP}} = \arg \max_{i \in M} C_i \quad (4)$$

(4)式中:  $A_{\text{TOP}}$  为判决结果;  $C_i$  表示候选网络与最优解决方案的贴近程度。

1) 建立标准决策矩阵,将各种类型的属性范围转换成无量纲属性,得到决策矩阵  $Y$  中的元素  $y$ ,每种属性都具有相同长度的向量;  $r_{ij}$  为候选网络  $i$  的第  $j$  个参数值。

$$y_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^M r_{ij}^2}} \quad (5)$$

$$Y = (y_{ij})_{m \times n} = \left( \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^M r_{ij}^2}} \right)_{m \times n} \quad (6)$$

2) 建立加权标准化决策矩阵,权重向量  $W(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots)$  由层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)得到。加权标准化决策矩阵  $V$  通过矩阵  $Y$  的每一列与其相对应的权重相乘得到:

$$V = (v_{ij})_{m \times n} = (w_j y_{ij})_{m \times n} \quad (7)$$

3) 确定理想解和负理想解。令  $V^+$ ,  $V^-$  分别表示为理想解和负理想解:

$$\begin{cases} V^+ = \{(\max_{1 \leq i \leq m} v_{ij} | j \in J^+), (\min_{1 \leq i \leq m} v_{ij} | j \in J^-)\} = \\ \{v_1^+, v_2^+, v_3^+, \dots, v_n^+\} \\ V^- = \{(\min_{1 \leq i \leq m} v_{ij} | j \in J^+), (\max_{1 \leq i \leq m} v_{ij} | j \in J^-)\} = \\ \{v_1^-, v_2^-, v_3^-, \dots, v_n^-\} \end{cases} \quad (8)$$

(8)式中:  $J^+$  为效益型指标;  $J^-$  为成本性指标。

4) 计算距离,候选网络的距离是通过计算  $n$  维Euclid距离得到的。各网络和理想解的距离为

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (9)$$

同样,和负理想解的距离为

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (10)$$

5) 计算候选网络和理想解的相对接近程度,贴近程度表示为

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^- + S_i^+)}, 0 < C_i^* < 1 \quad (11)$$

6)  $C_i^*$  为TOPSIS算法计算出的网络性能值,用于下一步模糊逻辑判决。贴近度  $C_i^*$  值越大,表示该目标越优,  $C_i^*$  值最大的网络为性能最优的网络<sup>[14]</sup>。

## 4.3 模糊逻辑判决

TOPSIS算法计算得出网络性能之后,将网络性能的结果作为一个参数,与用户喜好、资费2个参数作为模糊逻辑系统的输入量。

模糊逻辑系统分为3个部分:模糊化、模糊推理、解模糊化,如图2所示。模糊化<sup>[6]</sup>是根据输入的语言变量所对应的隶属度,将0到1赋给模糊序列中的元素。



图2 模糊逻辑系统

Fig. 2 Fuzzy-logic system

模糊逻辑系统的输入量有:

- 1) 用户喜好( $T$ ):  $T_{\text{LTE}}, T_{\text{WiMAX}}, T_{\text{WLAN}}$ ;
- 2) 资费( $M$ ):  $M_{\text{LTE}}, M_{\text{WiMAX}}, M_{\text{WLAN}}$ ;
- 3) 网络性能( $P$ ):  $P_{\text{LTE}}, P_{\text{WiMAX}}, P_{\text{WLAN}}$ 。

每个变量是由一个条件序列表示,每个语言变量所对应的条件序列为

$$\begin{aligned} X(T_{\text{LTE}}) &= X(T_{\text{WiMAX}}) = X(T_{\text{WLAN}}) = X(L, M, H) \\ X(M_{\text{LTE}}) &= X(M_{\text{WiMAX}}) = X(M_{\text{WLAN}}) = X(L, M, H) \\ X(P_{\text{LTE}}) &= X(P_{\text{WiMAX}}) = X(P_{\text{WLAN}}) = X(L, M, H) \end{aligned}$$

这里,将用户喜好、资费和网络性能分别对应到含有3个元素的条件序列,3个元素表示  $L, M, H$ , 分别代表低、中、高,如图3所示。

二是基于模糊规则的模糊推理,模糊控制器中的模糊推理是由多条语言规则所构成的,if 表示合适的条件,then 表示推断的结果。输出变量的结果有4个元素 NF, WF, FI, VF, 分别表示不合适、比较合适、合适、非常合适。



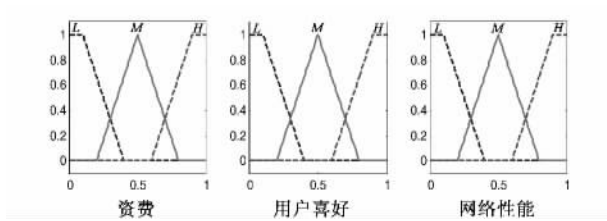


图3 模糊集隶属函数

Fig.3 Membership function of fuzzy

由于模糊推理的输出是一个模糊集,而模糊控制器的输出必须是一个确定数值,因此,需要对推理结果进行反模糊化处理<sup>[7]</sup>。在这里采用重心法去模糊化,将模糊推理的输出转化为精确数值,通过比较,得到3种候选网络从大到小的排序结果,选择值最大的候选网络作为切换的目标。图4给出了本文提出的切换算法流程图。

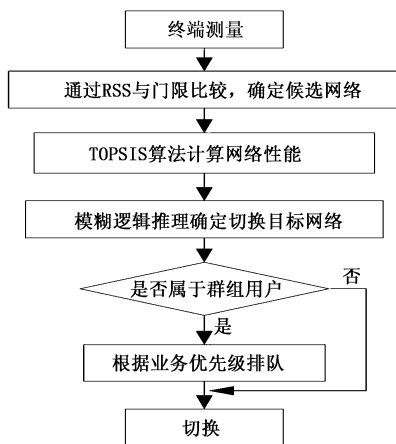


图4 改进的切换算法流程图

Fig.4 Flow chart of improved switching algorithm

## 5 仿真分析

为了评估改进后切换判决算法的性能,使用matlab软件构建异构网络场景,对改进算法的性能进行仿真和分析,并与传统的切换算法进行比较。

在群组用户同时切换的场景中,由于可用于切换的信道资源是有限的,在切换时不可避免地发生碰撞事件,造成切换请求的失败,在下一个时延之后又会发起新的切换请求,从而使系统状态进一步恶化。图5为在不同组内用户数目下切换时延的比较,从图5中可以看出,基于优先级的改进算法在组内用户数目小于15时切换时延更高,这是因为改进算法需要对所有用户根据业务划分优先级进行排队,增加了额外的信令时间。当用户数目超过15之后,传统算法由于用户请求切换碰撞的概率急剧增高,切换时延大大增加。

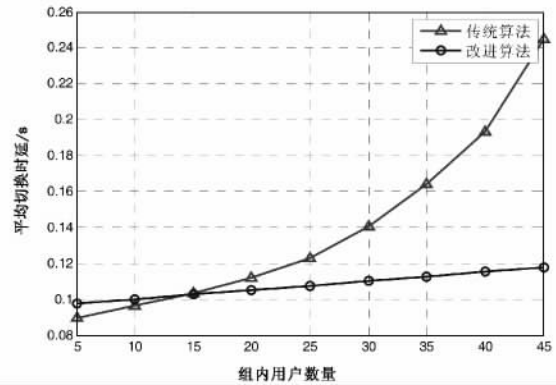


图5 不同用户下切换时延

Fig.5 Average switching delay for different users

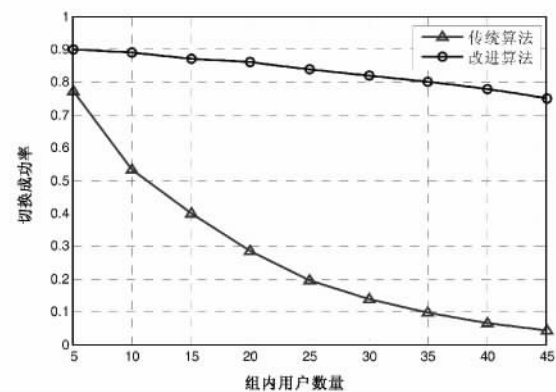


图6 不同用户下切换成功率

Fig.6 Handover success rate for different users

图6比较了2种算法在不同组内用户数目下的切换成功率,传统算法由于不可避免地存在很多的碰撞,切换成功率比较低,改进算法在切换成功率上远优于传统算法。

通常算法的复杂度是由其输入量决定的,随着输入量的增多,复杂度急剧增加。而改进的切换算法在判决时首先将其中与网络性能相关的参数使用TOPSIS算法计算,把得到的结果与用户喜好、资费2个参数送入模糊逻辑系统,相当于减少了输入量。因此,改进的切换算法在复杂度和计算量上,要比单独使用模糊逻辑算法低。

## 6 结论

本文对异构无线网络融合中存在的问题进行了分析,对影响异构无线网络性能的参数进行了简单介绍,并给出了参数归一化的方法。针对群组用户同时切换造成的网络拥挤、性能恶化,和传统切换判决算法复杂度高、计算量大这2个缺点,提出了一种基于优先级的异构无线网络切换算法。与传统算法相比,改进之后的切换算法能够有效降低切换时延,

提高切换的成功率,保证高优先级业务的稳定性,考虑用户对网络的倾向,并且在一定程度地减少了网络判决时算法的计算量。

#### 参考文献:

- [1] 贺昕,李斌. 异构无线网络切换技术 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2008: 6-7.  
HE Xin, LI Bin. Handoff in heterogeneous wireless networks [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications press, 2008: 6-7.
- [2] 李军. 异构无线网络融合理论与技术实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 73-74.  
LI Jun. Heterogeneous wireless network integration theory and technology [M]. Beijing: Publishing House of electronics industry, 2009: 73-74.
- [3] 凌毓涛,易本顺,吴建斌,等. 一种新的异构无线接入网垂直切换方法 [J]. 湖南大学学报: 自然科学版, 2012, 39(6): 79-84.  
LING Yutao, YI Benshun, WU Jianbin, et al. A new vertical handoff method for heterogeneous wireless access networks [J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2012, 39(6): 79-84.
- [4] 王康,曾志民,冯春燕,等. 一种多属性决策的异构网络选择算法 [J]. 无线电工程, 2009, 39(1): 1-3.  
WANG Kang, ZENG Zhimin, FENG Chunyan, et al. A heterogeneous network selection algorithm based on Multi-attribute decision making method [J]. Radio Engineering of China, 2009, 39(1): 1-3.
- [5] 赵倩丽,曾兴斌,何加铭. 异构无线网络的自适应垂直切换判决算法 [J]. 无线电通信技术, 2012, 38(6): 8-11.  
ZHAO Qianli, ZENG Xingbin, HE Jiaming. Adaptive vertical handoff decision algorithm for wireless heterogeneous networks [J]. Radio communications technology, 2012, 38(6): 8-11.
- [6] 张天魁,邱禹,冯春燕. 用于异构网络的差值门限模糊切换算法 [J]. 西安电子科技大学学报, 2011, 38(1): 165-170.  
ZHANG Tiankui, QIU Yu, FENG Chunyan. Difference threshold based fuzzy handover algorithm for heterogeneous networks [J]. Journal of Xidian University (Natural Science), 2011, 38(1): 165-170.
- [7] 纪晓龙,张静. 一种异构无线网络的多属性垂直切换方案 [J]. 上海师范大学学报: 自然科学版, 2014, 43(2): 153-158.  
JI Xiaolong, ZHANG Jing. A multi-attribute vertical handoff scheme for heterogeneous wireless networks [J]. Journal of Shanghai Normal University: Natural Sciences, 2014, 43(2): 153-158.
- [8] 姜开元,顾学迈,郭庆,等. 基于模糊层次分析法的多属性垂直切换算法 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2012, 40(9): 104-109.  
JIANG Kaiyuan, GU Xuemai, GUO Qing, et al. Fuzzy AHP-based Multi-Attribute vertical handover algorithm [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2012, 40(9): 104-109.
- [9] 沈娇,陈俊,李海城. 异构无线网络垂直切换技术研究 [J]. 计算机技术与发展, 2010(11): 209-213.  
SHEN Jiao, CHEN Jun, LI Haicheng. Research on Vertical Handoff Technology for Heterogeneous wireless Network [J]. Computer Technology and Development, 2010(11): 209-213.
- [10] 柴蓉,肖敏,唐伦,等. 异构网络垂直切换性能参数分析及算法研究 [J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2010, 22(1): 63-70.  
CHAI Rong, XIAO Min, TANG Lun, et al. Performance parameter analysis and algorithm study of vertical handoff for heterogeneous networks [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications: Natural Science Edition, 2010, 22(1): 63-70.
- [11] SHEN W, ZENG Q. Cost-function-based network selection strategy in integrated wireless and mobile networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008(57): 3778-3788.
- [12] SONG Wei, ZHUANG Weihua, CHENG Yu. Load balancing for cellular/WLAN integrated networks [J]. IEEE network, 2007, 21(1): 27-33.
- [13] 於时才,陈斌,龚仁彬. 异构网络中基于门限和 AHP 的 TOPSIS 垂直切换算法 [J]. 兰州理工大学学报, 2012, 38(3): 84-88.  
YU Shicai, CHEN Bin, GONG Renbin. Threshold-and AHP-based TOPSIS vertical handoff algorithm for heterogeneous networks [J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2012, 38(3): 84-88.
- [14] MOHAMMED M, KASIM A. Multi-Criteria Vertical Handover by TOPSIS and Fuzzy Logic [C] // 2011 International Conference on Communications and Information Technology (ICCIIT). [s. l.]: IEEE Press, 2010: 97-102.

#### 作者简介:



蒋青(1965-),女,重庆人,教授,硕士研究生导师,主要研究方向为宽带网络技术。  
E-mail: jiangq@cqupt.edu.cn。



任行帆(1991-),男,河南人,硕士研究生,主要研究方向为下一代网络的移动性管理技术。E-mail: renxingfan@sina.com。



张佳星(1989-),女,北京人,硕士研究生,主要研究方向为LTE系统资源分配技术。E-mail: zjx\_88lv@126.com。

(编辑:刘勇)