



基于用户偏好的异构网络选择算法研究^{*}

杨 存¹, 赵季红², 赵庶源²

(1. 南京邮电大学通信与信息工程学院 南京 210003; 2. 西安交通大学 西安 710049)

摘 要: 针对当前大多数网络选择算法没有充分考虑用户基于业务的网络偏好这一问题, 提出了一种基于用户偏好的异构网络选择算法。该算法充分考虑业务需求、用户偏好及网络性能差异, 通过层次分析法和距离分析法分别计算用户对各候选网络的主观和客观偏好权重, 根据用户策略动态确定综合权重, 并由此结合各属性权重计算网络性能, 选出最优网络。仿真结果表明该算法可以准确选择接入网络, 并当用户在网络边缘做乒乓运动时有效减少切换次数。

关键词: 网络选择; 用户偏好; 层次分析法; 距离分析法

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.06.010

Research on Network Selection Algorithm Based on User Preference in Heterogeneous System

Yang Cun¹, Zhao Jihong², Zhao Shuyuan²

(1. College of Telecommunications and Information Engineering,

Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Most network selection algorithms did not pay more attention to user preference for networks which was based on service requirements. For this circumstance, a new network selection algorithm based on user preference was proposed. The algorithm was fully considered service requirements, user preference and network performance. The AHP algorithm and distance analysis were used to calculate subjective and objective user preference weight respectively for different heterogeneous networks. Then the user preference weight for networks could be obtained dynamically on the basis of user strategy. The performance of each candidate network was counted, based on which the optimum network was selected. Simulation results show that the algorithm performs well in network selection and reduces the number of handoff times as the user moves through the network boundary frequently.

Key words: network selection, user preference, analytic hierarchy process, distance analysis

1 引言

未来的移动通信网络将不再由单一的无线接入技术构成, 而是一个多种无线网络并存的异构网络。在多种无

线网络覆盖的地区, 选择最有效、最合适的接入网络满足用户的业务需求, 保证用户 ABC (always best connected, 始终最佳接入)^[1] 是近几年异构网络融合背景下的一个研究热点问题。

^{*} 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)



关于异构无线网络的选择问题,研究者提出了多种接入选择算法。参考文献[2]提出了一种以用户 QoS(quality of service,服务质量)为核心的网络选择框架结构,但没有给出具体的选择算法。参考文献[3~5]提出基于业务类型和代价的网络选择算法,但没有考虑用户网络偏好。参考文献[6]提出综合使用层次分析法和熵值法确定网络参数的权重,但是并没有考虑用户网络偏好这一重要因素。参考文献[7]提出基于模糊逻辑的思路,提出使用接收信号强度、网络吞吐量和用户移动速率作为判决参数的模糊逻辑网络选择策略,然而并未综合考虑多种接入判决参数,如网络可用性、用户偏好等影响网络选择的重要因素。参考文献[8]提出基于层析分析法和模糊综合评价方法的网络选择算法,但用户偏好值的确定没有充分考虑网络性能和业务需求,显得主观性太强。

针对上述问题,本文提出了一种基于用户偏好的异构网络选择算法。充分考虑网络 QoS、用户偏好、资费等因素影响网络选择的因素,建立合理的网络选择层次模型;应用层次分析法(analytic hierarchy process,AHP)^[9]和熵值法确定影响网络选择的决策因素的权重;联合 AHP 算法和距离分析法分别计算出用户对各候选网络的主观和客观偏好权重,根据用户策略动态确定综合权重;给出算法的流程,说明最优网络的选择过程。最后通过仿真实验进行了算法验证和性能对比。

2 网络属性权重的确定方法

2.1 层次分析法

2.1.1 构建层次分析结构模型

不同类型业务对 QoS 要求不同,语音业务通常要求较低的时延和抖动,允许一定程度的分组丢失;而数据业务要求高数据率和低分组丢失率,可以容忍一定程度的抖动。同时考虑到价格这个用户敏感因素,本文使用网络带宽、时延、抖动、分组丢失率 4 个典型的 QoS 参数和价格建立如图 1 所示的网络选择层次结构模型。

2.1.2 构造判断矩阵

构造准则层的判断矩阵 $A=(a_{ij})_{5 \times 5}$,其中 a_{ij} 表示属性 i 相对于属性 j 的重要程度。在层次分析法中,通常引用 1~9 及其倒数作为 a_{ij} 的标度方法,其含义是前者相对于后者从重要性相同到极端重要分布。同理的,可以构造出方案层的判断矩阵,也即针对每一决策参数构造出来的网络判决矩阵 $C_x=(c_{ij})$ ($x=B,D,J,L,C$; $i,j=n1,n2,n3$)。

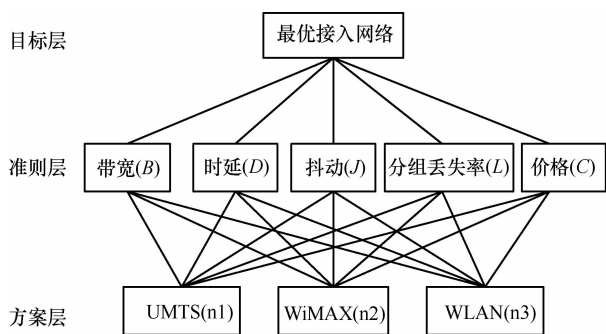


图 1 网络选择层次结构模型

2.1.3 计算权重及一致性检验

对构造的判断矩阵,这里简要说明方根法求参数权重的步骤。

步骤 1 计算判断矩阵每一行元素的乘积:

$$V_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

步骤 2 计算 V_i 的 n 次方根:

$$\bar{V}_i = \sqrt[n]{V_i} \quad (2)$$

步骤 3 归一化处理:

$$u_i = \frac{\bar{V}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{V}_i} \quad (3)$$

由此可以得到准则层的评价参数权重 $\{u_B, u_D, u_J, u_L, u_C\}$ 。为防止比较结果前后不一致的情况,需要对判断矩阵进行一致性检验。

2.2 熵值法

上述通过 AHP 算法得到的属性权重,主要依赖于决策者的经验、个人喜好等主观因素,未考虑网络之间的客观差异。鉴于此通过计算信息熵^[6]来反映各网络属性之间的差异程度,利用信息熵计算各属性权重步骤如下。

步骤 1 计算网络属性的信息熵:

$$X(i) = -k \sum_{j=1}^n a_{ij} \ln a_{ij} \quad (4)$$

其中, a_{ij} 为 j 网络 i 属性的归一化值; k 为常数,为简化计算通常取值为 1。

步骤 2 计算差异度:

$$Y(i) = 1 - X(i) \quad (5)$$

步骤 3 计算权重向量:

$$u'_i = Y(i) / \sum_{i=1}^n Y(i) \quad (6)$$

由此利用熵值法得到网络属性权重为 $u'_B, u'_D, u'_J, u'_L, u'_C$ 。

2.3 网络属性的综合权重

综合上述 AHP 法和熵值法得到网络属性的综合权重为:

$$w_i = \alpha \times u_i + (1 - \alpha) \times u'_i, i = B, D, J, L, C \quad (7)$$

其中, α 为调整系数且 $0 < \alpha < 1$ 。

3 网络偏好权重的确定方法

3.1 主观网络偏好权重的确定

根据网络选择层次模型的方案层, 利用上述的层次分析法可计算得出针对各判决参数的网络判决矩阵的归一化特征向量为 $C_i(j) (i=B, D, J, L, C; j=n1, n2, n3)$, 其中 $C_i(j)$ 表示针对评价参数 i, j 网络的偏好权重值。结合准则层各判决参数的权重, 可计算出用户对每一候选网络的主观偏好权重为:

$$wp_k = \sum_i C_i(k) \times w_i (i = B, D, J, L, C; k = n1, n2, n3) \quad (8)$$

为避免最终分析结果出现较严重的非一致性, 有必要对用户网络偏好权重值作一致性检验: 假设方案层中与准则层中 A_j 相关因素的成对比较判断矩阵已经通过一致性检验, 且求得的一致性指标为 $CI(j) (j=B, D, J, L, C)$, 相应的平均随机一致性指标为 $RI(j)$, 那么用户网络偏好权重值随机一致性比例为:

$$CR = \frac{\sum_j CI(j) \times w_j}{\sum_j RI(j) \times w_j} \quad (9)$$

当 $CR < 0.10$ 时, 认为所求得的用户网络偏好权重具有较为满意的一致性并接受该分析结果。

3.2 客观网络偏好权重的确定

采用距离分析法, 其基本思想是以最优样本 (也称理想样本) 和最劣样本 (也称负理想样本) 为参考样本, 计算各个样本离参考样本的距离, 离最优样本点近, 离最劣样本点远的为总体较好的样本。本文以候选网络到理想网络的相对接近程度给各候选网络赋偏好权重值。基本步骤如下。

步骤 1 归一化网络参数矩阵。

假设通过信息收集得到的网络参数矩阵为: $X = (x_{ij})_{3 \times 5}$, 其中 x_{ij} 表示第 i 个网络的第 j 个参数值。为了消除量纲效, 对效益型和成本性参数分别采用式 (10) 和式 (11) 进行规范化处理, 其中 x_{j_max} 和 x_{j_min} 分别表示 j 参数的最大值和最小值。

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{j_max} + x_{j_min}} \quad (10)$$

$$x'_{ij} = \frac{x_{j_max} + x_{j_min} - x_{ij}}{x_{j_max} + x_{j_min}} \quad (11)$$

经规范化处理后为 $X' = (x'_{ij})_{3 \times 5}$ 。

步骤 2 确定参数理想值和负理想值, 分别用 X^+ 和 X^- 表示:

$$X^+ = (x_B^+, x_D^+, x_J^+, x_L^+, x_C^+) \quad (12)$$

$$X^- = (x_B^-, x_D^-, x_J^-, x_L^-, x_C^-) \quad (13)$$

其中, $x_l^+ = \max(x'_{1l}, x'_{2l}, x'_{3l})$, $x_l^- = \min(x'_{1l}, x'_{2l}, x'_{3l})$, $l = B, D, J, L, C$ 。

步骤 3 计算候选网络到理想和负理想网络的欧式距离:

$$D_k^+ = \sqrt{\sum_{l=1}^5 (x_{kl} - x_l^+)^2} \quad (14)$$

$$D_k^- = \sqrt{\sum_{l=1}^5 (x_{kl} - x_l^-)^2} \quad (15)$$

步骤 4 计算各网络到理想网络的相对接近度:

$$C_k = D_k^- / (D_k^+ + D_k^-) \quad (16)$$

C_k 越大, 表明该网络与理想网络的相对距离越近。

步骤 5 对 C_k 做归一化处理:

$$wp'_k = C_k / \sum_{k=1}^3 C_k, k = n1, n2, n3 \quad (17)$$

则 wp'_k 即为所求的各候选网络的客观偏好权重。

3.3 网络偏好综合权重

综上所述得到网络偏好的综合权重为:

$$W_k = \beta \times wp_k + (1 - \beta) \times wp'_k, k = n1, n2, n3 \quad (18)$$

其中, β 为用户策略系数, 且 $0 < \beta < 1$ 。

4 最优网络选择

网络选择算法流程如图 2 所示。

网络选择的过程分为数据收集、数据处理和决策 3 个部分。

数据收集: 主要获取网络状态信息、业务需求等衡量网络性能的指标, 是数据处理的对象。

数据处理: 首先建立网络选择层次模型 (如图 1 所示), 构造 AHP 参数判断矩阵和网络参数矩阵; 然后利用 AHP 算法、熵值法、距离分析法计算网络属性权重和用户对网络的偏好权重; 最后计算各候选网络的综合效用值。

决策部分: 根据候选网络的综合效用值, 选择最佳接入网络, 执行网络切换接入。

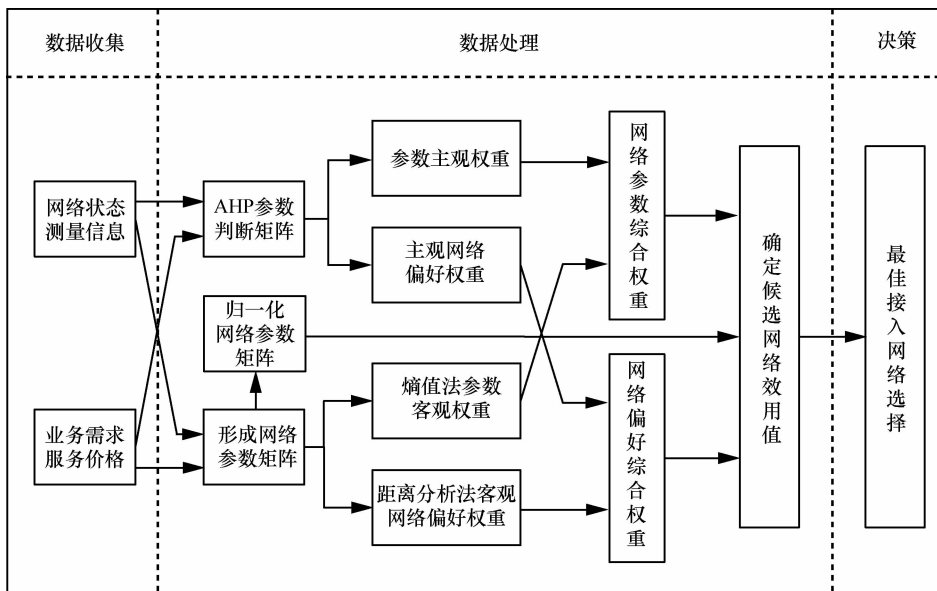


图2 网络选择算法流程

如上所述得到准则层参数综合权重为 $\{w_B, w_D, w_J, w_L, w_C\}$, 网络偏好综合权重为 $\{W_{n1}, W_{n2}, W_{n3}\}$, 网络参数归一化矩阵为 $X'=(x'_{ij})_{3 \times 5}$, 根据式(19)可以得出各候选网络的综合效用值。最优网络即为综合效用值最大的候选网络。

$$U(i) = \left[\sum_j (x'_{ij} \times w_j) \right] \times W_i (i=n1, n2, n3; j=B, D, J, L, C) \quad (19)$$

5 仿真及结果

为了验证算法, 设计了两种仿真: 一是验证本算法在不同的业务需求下能够正确地选择网络; 二是把本文提出的算法与参考文献[10]提出的 AHP 算法(未考虑网络偏好)及考虑主观网络偏好权重的改进 AHP 算法对比, 分析

本算法的性能。

5.1 算法验证

假设多模终端处于 3 种网络 UMTS (n1)、WiMAX (n2)、WLAN(n3) 的覆盖下, 移动终端检测到的 3 种网络参数见表 1, 括号内为参数随机取值的范围。

(1) 假设用户正在进行语音业务, 根据语音业务的 QoS 需求, 得出准则层的判断矩阵见表 2, 方案层针对每一判决参数的判断矩阵见表 3。

利用 AHP 算法和熵值法, 取 $\alpha=0.5$, 得到准则层参数综合权重为 $\{0.1121, 0.2001, 0.3399, 0.1678, 0.1801\}$; 联合 AHP 算法和距离分析法, 取 $\beta=0.4$, 得到候选网络偏好综合权重为 $\{0.4232, 0.3604, 0.2164\}$; 计算出各网络的效用值如图 3 所示, 终端选择接入 UMTS 网络。

表1 网络仿真参数

	$B/(\text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1})$	D/ms	J/ms	$L/\text{per}(10^{-4})$	C
UMTS	2	100(50~100)	10(5~15)	1(0.5~1.5)	0.9
WiAMX	5	150(100~200)	15(10~20)	0.5(0.5~1.5)	0.5
WLAN	11	200(150~250)	50(30~70)	0.5(0.5~1.5)	0.1

表2 语音业务参数判断矩阵

	B	D	J	L	C	W
B	1	1/7	1/7	1/3	1/2	0.044 8
D	7	1	1	4	6	0.385 3
J	7	1	1	4	6	0.385 3
L	3	1/4	1/4	2	2	0.114 2
C	2	1/6	1/5	1/2	1	0.070 3

表 3 针对每一判决参数的网络判断矩阵

<i>B</i>	n1	n2	n3	<i>D</i>	n1	n2	n3	<i>J</i>	n1	n2	n3	<i>L</i>	n1	n2	n3	<i>C</i>	n1	n2	n3
n1	1	1/5	1/3	n1	1	3	4	n1	1	1	5	n1	1	3	1	n1	1	3	5
n2	5	1	3	n2	1/3	1	2	n2	1	1	5	n2	1/3	1	1/3	n2	1/3	1	3
n3	3	1/3	1	n3	1/4	1/2	1	n3	1/5	1/5	1	n3	1	3	1	n3	1/5	1/3	1

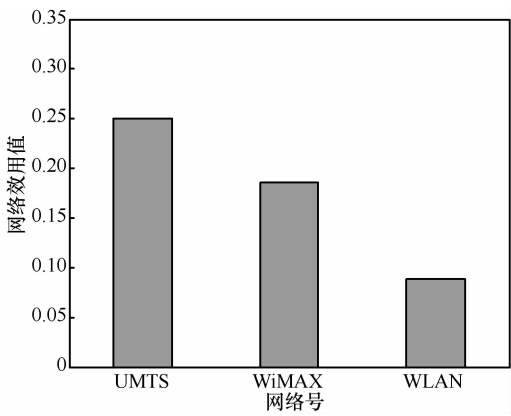


图 3 语音业务网络选择结果

(2)假设用户进行完语音业务后,开始进行数据业务,根据数据业务的 QoS 要求得到如表 4 所示的判断矩阵。

经计算可得 3 个候选网络偏好综合权重为 {0.302 3,

0.340 5, 0.357 2},计算出各网络效用值如图 4 所示,终端切换到 WLAN。

(3)假定候选网络参数信息每 10 s 收集一次,网络参数数值如表 1 所示的范围内随机选取,可得两种业务下各候选网络的综合效用值变化情况如图 5 和图 6 所示。

由以上仿真结果分析可知,在 UMTS、WiMAX、WLAN 重叠覆盖的区域,当用户进行延时要求较高的语音业务时,选择了更适合语音业务传输的 UMTS 网络;当进行对带宽要求比较高的数据业务时,选择了高带宽、低分组丢失率的 WLAN,既保证了用户的业务 QoS 要求,又有效地利用了网络资源。

5.2 性能对比

为了验证算法在乒乓运动场景下的性能,假设用户在 WLAN 边缘做随机直线运动,运动场景如图 7 所示,移

表 4 数据业务参数判断矩阵

	<i>B</i> /(Mbit·s ⁻¹)	<i>D</i> /ms	<i>J</i> /ms	<i>L</i> /per(10 ⁻⁴)	<i>C</i>	<i>W</i>
<i>B</i>	1	6	6	3	2	0.431 9
<i>D</i>	1/6	1	1	1/2	1/5	0.063 5
<i>J</i>	1/6	1	1	1/2	1/5	0.063 5
<i>L</i>	1/3	2	2	1	1/4	0.117 4
<i>C</i>	1/2	5	5	4	1	0.323 7

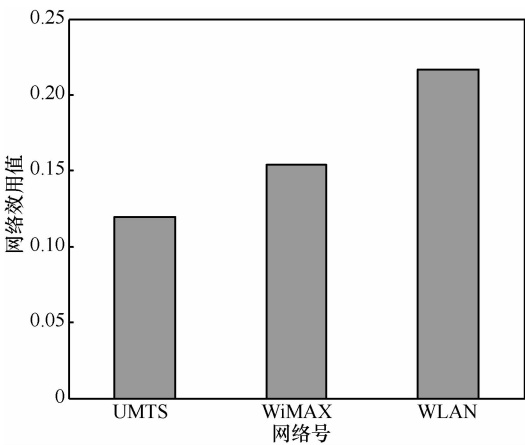


图 4 数据业务网络选择结果

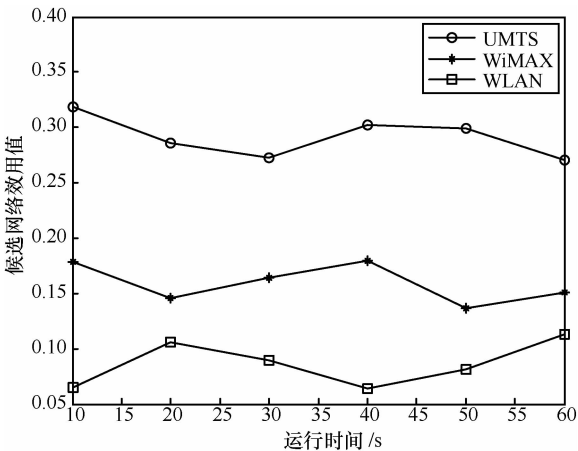


图 5 语音业务下网络效用值

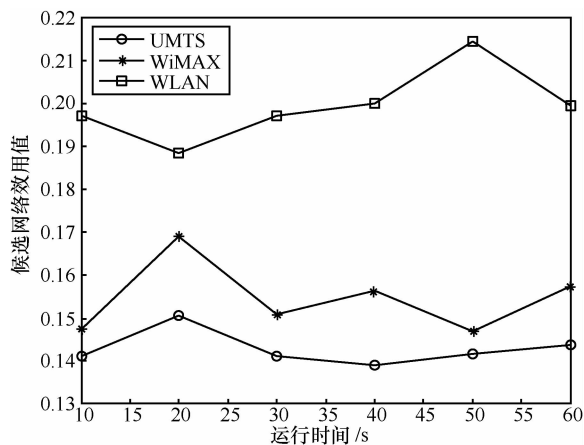


图6 数据业务下网络效用值

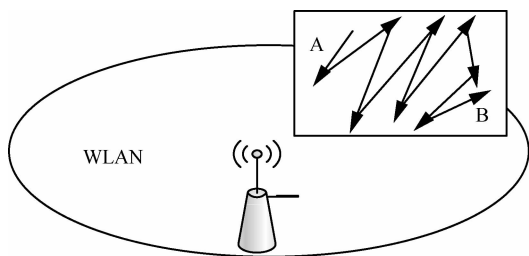


图7 移动终端乒乓运动场景

动终端每次随机选择目标点后,收集网络的性能参数,执行网络选择算法选择最优网络。

假设用户在此情境下进行的是数据业务,网络参数选择如表1所示,仿真得出本文提出的算法与传统AHP算法及考虑主观网络偏好的改进AHP算法的切换次数比较如图8所示。

从图8可以看出,与传统AHP算法及考虑主观网络

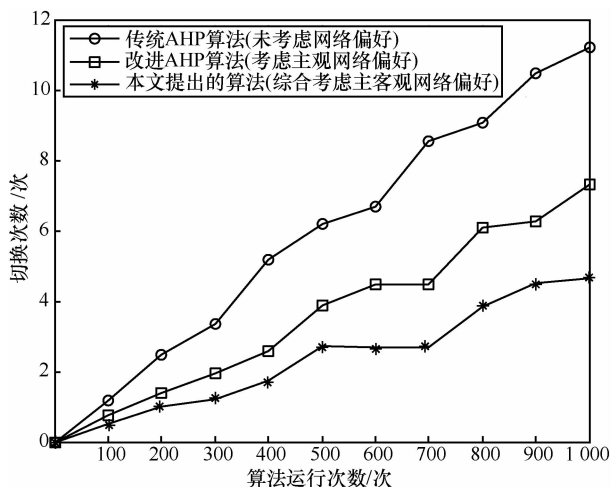


图8 3种算法切换次数对比

偏好的改进AHP算法相比,本文提出算法能够明显降低移动终端在网络边缘做乒乓运动时的网络切换次数,特别是用户逗留的时间越久,越能凸显本算法在避免频繁切换方面的优越性。这是因为考虑用户对网络的综合偏好值后在进行某一项业务时,总是能够最大程度地选择适合该业务的异构网络,从而避免了因网络参数的小幅波动而导致的频繁切换,减小了乒乓效应的影响。

6 结束语

本文充分考虑业务QoS需求、用户偏好、网络性能差异、价格等影响网络选择的因素,提出了一种基于用户偏好的异构网络选择算法。联合AHP算法和距离分析法计算出用户的综合网络偏好权重,在此基础上选择最优网络。通过仿真验证了该算法在不同的业务请求下能够正确地选择网络,且与AHP算法相比,能在保证业务性能不受影响的基础上有效地降低切换次数,减小乒乓效应。今后将研究多终端协同场景下网络和终端的协同选择问题,确保用户的始终最佳业务体验。

参考文献

- Gustafsson E, Jonsson A. Always best connected. IEEE Wireless Communications, 2003, 10(1):49~55
- Jawad M S, Ismail W, Singh M S J. Optimizing network selection to support end-user QoS requirements for next generation networks. International Journal of Computer Science and Network Security, 2008, 8(6):113~117
- 高雨, 曾华桢. 一种面向业务类别的区分权值异质无线网络选择算法. 计算机应用, 2010, 30(5):1141~1145
- Ai-gizawi T, Peppas K, Lazaraki S F. Interoperability criteria, mechanism and evolution of system performance for transparently interoperating WLAN and UMTS-HSDPA networks. IEEE Network, 2005, 19(4): 66~72
- 何振华, 裴廷睿, 曾文丽等. 面向用户的异构接入选择算法. 计算机工程与应用, 2010, 46(15):109~112
- 王康, 曾志民, 冯春燕. 一种多属性决策的异构网络选择算法. 无线电工程, 2009, 39(1):1~3
- Majlesi A, Khalaj B H. An adaptive fuzzy logic based handoff algorithm for interworking between WLANs and mobile networks. Proceedings of IEEE PIMRC, Lisbon, Portugal, 2002
- Liang L, Ji Y, Zhang P. A network selection algorithm based on fuzzy analytic hierarchy process in heterogeneous system. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2007, 30(2): 71~75

(下转第101页)