

基于多属性判决的网络选择算法

张 钰 刘胜美

(南京邮电大学通信与信息工程学院 南京 210003)

摘 要 异构网络中,针对如何根据不同业务的特性选择合适的判决参数并利用这些参数来选择最适合的网络以及通过网络负载均衡来减少切换次数和切换失败可能性等问题,提出了一种基于多属性判决的网络选择算法——TAU-MADM算法。考虑到网络客观属性和用户偏好,进行两次判决:第一次判决采用 TOPSIS 算法,仅考虑网络客观属性,当备选网络方案相当接近时进行第二次判决;第二次判决采用 AHP 算法计算权重,并采用 ANP 网络分析法消除属性之间的依赖性,之后构造效用函数,根据每个网络的效用函数值进行网络选择。仿真结果表明,该算法考虑了网络负载均衡,有效地降低了平均切换率和平均切换阻塞率。

关键词 网络选择,接近理想方案的序数偏好方法,层次分析法,网络分析法,效用函数

中图分类号 TN929.5 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.6.027

Network Selection Algorithm Based on Multi-attribute Decision

ZHANG Yu LIU Sheng-mei

(College of Telecommunication & Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract A network selection algorithm based on multi-attribute decision for heterogeneous networks was proposed according to how to choose and use the right parameters to select the most appropriate network on the characteristics of different services, considering the network load balancing to reduce handoff times and the probability of handoff blocking. This algorithm takes the network objective attributes and user preferences into account. Two decisions are made. The first decision uses TOPSIS algorithm, considering only the network objective attributes. When the alternative network solutions are very close, the second decision is made. The second decision uses AHP to calculate the weights and uses ANP to eliminate the dependence between the attributes, then creates utility functions, and selects the most appropriate network on the values of the utility functions. Simulation results show that the proposed algorithm takes the network load balancing into consideration and reduces the average handoff rate and the average probability of handoff blocking effectively.

Keywords Network selection, TOPSIS, AHP, ANP, Utility function

随着移动通信和宽带无线接入的迅猛发展,下一代移动通信系统的主要特征之一就是多种无线接入网络同时存在,相互补充,无缝集成到统一的异构网络环境中,为用户提供无所不在的最优业务体验。在下一代异构网络中可能发生不同技术和管理域之间的切换,切换判决也将建立在多个属性综合考虑的基础上,用户也可以根据自己的喜好来选择网络。

当今的无线通信网络有:全球移动通信系统(GSM)、码分多址接入网络(CDMA)、第三代移动通信系统的通用移动通信系统(UMTS)、无线局域网(WLAN)、全球通用微波接入(WiMax)等。3GPP将3G业务分为4种服务类别,包括会话类、交互类、流类、背景类。

因此,在异构网络中,针对如何根据不同业务的特性选择合适的判决参数并利用这些参数来选择最适合的网络,并考虑网络资源的均衡利用以及网络负载均衡,减少切换次数以及切换失败可能性这些问题,本文提出了一种基于多属性判决的网络选择算法——TAU-MADM算法。

1 相关研究

目前接入选择算法大多片面地依赖部分判决参数,没有全面考虑当前的应用场景和用户偏好等各种影响网络选择的信息,造成接入选择目标判决的偏颇。文献[1]仅仅根据接收信号强度RSS进行网络选择,然而在异构网络中网络选择需考虑多种接入判决参数,传统的仅将RSS作为唯一判决指标的接入选择算法,不适用于异构网络,而且其算法收敛速度太慢从而影响接入选择的实时性。文献[2]采用接近理想方案的序数偏好方法计算备选网络与理想方案的相对接近程度,并进行排序得到接入网络,然而当出现两个备选网络与理想方案的相对接近程度相当接近时,就可能发生不必要的切换。文献[3]提出一种基于多参数模糊神经网络的垂直切换判决算法,该算法利用了神经网络、模糊控制等方法,但这些算法都比较复杂,往往会造成较大的切换时延,进而增大掉话率。

根据目前研究现状,本文提出一种新的基于多属性判决

到稿日期:2014-06-23 返修日期:2014-09-19

张钰(1990—),女,硕士生,主要研究方向为移动通信与无线技术,E-mail: zyluo1990@hotmail.com;刘胜美(1977—),女,博士,副教授,主要研究方向为异构无线网络移动性管理、资源管理、无线云等。

的网络选择算法,考虑了网络客观属性和用户偏好。TOPSIS 算法比较直观,所以在网络选择中,仅考虑网络客观属性时采用它比较合适。而当使用 TOPSIS 算法计算得出的备选网络与理想方案的相对接近程度相当接近时,就会发生不必要的切换或者应当切换而不能切换的情况。考虑到上述情况,本文提出的算法分为两次判决,第一次判决采用 TOPSIS 算法,相对接近程度相当接近时进行第二次判决。在以往的文献中,如文献[12]采用 AHP 计算权重,并没有考虑属性之间的依赖性。本文提出的算法在第二次判决时采用 ANP 网络分析法消除属性之间的依赖性,更符合实际情况。该算法很好地考虑了主观和客观属性的影响,引入历史偏好来尽可能地确保移动终端与当前网络保持连接,并考虑了网络负载均衡。

2 算法原理

本文提出的算法流程如图 1 所示。

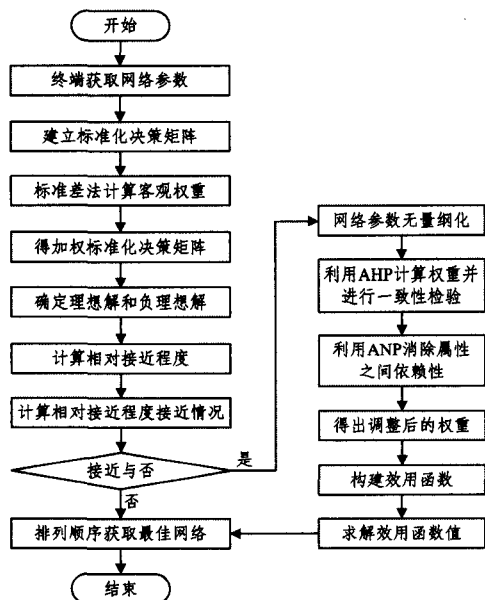


图 1 算法流程

2.1 第一次判决

第一次判决在网络端使用 TOPSIS 算法。TOPSIS 是一个经典的多属性判决(MADM)算法,它所基于的原则是被选方案与理想方案的距离最小并且与最差解决方案的距离最大,理想方案是由所有候选网络的最优属性值构成,最差解决方案则由所有候选网络的最差属性值构成。候选方案与理想方案的距离以及最差解决方案的距离采用欧几里得距离,即将 n 个属性 m 个网络的多属性决策问题视为在 n 维空间中的 m 个点构成的几何系统中进行处理,被选方案与理想解在几何空间上具有最小的欧几里得距离。步骤如下:

(1)假设移动终端确定的候选网络个数为 m ,并对网络属性值用矩阵表示,设时延为 D 、抖动为 J 、丢包率为 P 、响应时间为 R 、误码率为 B 、安全系数为 S 、网络覆盖为 C 、吞吐量为 T ,且前 5 个属性为成本型指标,后 3 个属性为效益型指标。则判决矩阵 X 为:

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_8 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \cdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} D_{11} & J_{12} & \cdots & T_{18} \\ D_{21} & J_{22} & \cdots & T_{28} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ D_{m1} & J_{m2} & \cdots & T_{m8} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

(2)将矩阵 X 转换为无量纲的标准化矩阵 R , R 中元素 r_{ij} 可以表示为:

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m d_{ij}^2}}, j=1, 2, \cdots, 8 \quad (2)$$

(3)由标准差法得到的各权值间差别较小,比较适合第一次判决,故本算法中采用标准差法来计算客观权重^[5]。第 j 个指标的权重公式为:

$$w_j = \frac{s_j}{\sum_{j=1}^8 s_j} \quad (3)$$

其中, s_j 为第 j 个指标在不同评估对象中的标准差。

(4)加权标准化的决策矩阵 V 是由矩阵 R 的每一列与其相应的权重相乘而得,因此加权标准化决策矩阵 V 中的值为:

$$v_{ij} = \omega_j r_{ij} \quad (4)$$

(5)确定理想解 A^+ 与负理想解 A^- : 当属性为效益型指标时,理想方案为每列中的 $\max$ 值,负理想方案为每列中的 $\min$ 值;当属性为成本型指标时,理想方案为每列中的 $\min$ 值,负理想方案为每列中的 $\max$ 值。

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \cdots, v_8^+) \\ = \{(\max_i v_{ij} | j=6, 7, 8), (\min_i v_{ij} | j=1, \cdots, 5)\} \quad (5)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \cdots, v_8^-) \\ = \{(\max_i v_{ij} | j=1, \cdots, 5), (\min_i v_{ij} | j=6, 7, 8)\} \quad (6)$$

(6)计算距离:每个候选方案的距离通过 n 维欧几里得距离来测量, S_i^+ 代表到理想方案的距离, S_i^- 代表到负理想方案的距离,计算方法如下:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (v_{ij} - v_i^+)^2}, i=1, 2, \cdots, m \quad (7)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (v_{ij} - v_i^-)^2}, i=1, 2, \cdots, m \quad (8)$$

(7) 计算与理想方案的相对接近程度:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+}, 0 < C_i < 1, i=1, 2, \cdots, m \quad (9)$$

计算接近情况:

$$M_l = |C_i - C_{i'}|, i \neq i' \quad (10)$$

$$M_{\max} = \{\max_l M_l, l=1, 2, \cdots\} \quad (11)$$

当 $M_{\max} < 0.2$ 时,对网络端进行第二次判决。

2.2 第二次判决

2.2.1 网络参数无量纲化

异构网络中,由于各个网络的不同性质,需要选取不同的属性作为评价指标。对于不同种类的判决准则,它们意义与计算方法都不相同,不能直接进行计算,需要对每个属性进行无量纲化处理。把属性的原始数据按照一定的计算方法计算出该属性在总属性中所占的比率,称为属性的标准值,用来消除原始属性值量纲的影响,这个过程称为属性的无量纲化。属性标准值在评价过程中主要衡量人们对被评价对象的满意程度。

目前,常把属性类型分为效益型、成本型、固定型等。效益型:属性值越大越好,希望利益最大化。成本型:属性值越小越好,如希望价格最小化。固定型:属性值越正常越好。在层次分析法中,我们将各个参数分为效益型属性和成本型属

性两种,为了便于计算,对各属性采用线性刻度转换的方法进行标准化处理:

效益型: $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max\{x_{ij} | 1 \leq i \leq m\}}, 0 \leq r_{ij} \leq 1$ (12)

成本型: $r_{ij} = 1 - \frac{x_{ij}}{\max\{x_{ij} | 1 \leq i \leq m\}}, 0 \leq r_{ij} \leq 1$ (13)

假设移动终端确定的候选网络个数为 m , 设接收信号强度为 RSS, 终端速率为 V , 时延为 D , 抖动为 J , 丢包率为 P , 业务带宽为 B , 费用为 C , 安全性为 S , 可用负载为 L , 历史偏好为 H , 其中终端速率 V 、时延 D 、抖动 J 、丢包率 P 、费用 C 为成本型指标, 接收信号强度 RSS、业务带宽 B 、安全性 S 、可用负载 L 、历史偏好 H 为效益型指标。可得无量纲化的各指标值如下:

$f_{D_i} = 1 - \frac{D_i}{\max(D_j)}, j \in \text{备选网络}$ (14)

其他成本型指标类似定义。

$f_{RSS_i} = \frac{RSS_i}{\max(RSS_j)}, j \in \text{备选网络}$ (15)

其他效益型指标类似定义。

2.2.2 利用 AHP 计算权重并进行一致性检验

层次分析法 (AHP)^[7] 是由美国运筹学家 T. L. Satty 提出的一种常用的多属性判决算法。AHP 将一个复杂的问题划分为简单的、易于分析的层次结构, 即目标层、准则层、方案层, 通过对准则层的各个属性进行两两比较, 将比较所得的值转化为决策标准的权重, 然后基于各个准则对所有的候选方案进行优先排序, 从而获得最优的候选方案。它通常包括下面几个步骤:

(1) 建立递阶层次结构: 通过对系统的全面分析, 确定系统的总目标, 实现目标所用的准则或约束, 以及应该采用的候选方案, 即构建出目标层、准则层、方案层。层次结构如图 2 所示。

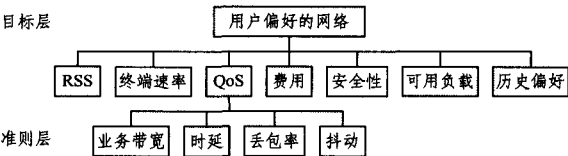


图2 层次结构

(2) 构造比较判决矩阵: 准则层由多个属性组成, 各个元素对目标层的影响是不同的, 这就要判决出准则层各元素对目标层的影响程度, 并将其量化, 以便构造出判决矩阵。通过对属性进行两两比较以构造出判决矩阵。构造的原则是: 相对于目标层, 判断两个属性中哪一个更重要且重要多少, 按照 1~9 标度法进行相对重要程度赋值 (记为 a_{ij}), 这样这 n 个被比较的元素就构成了一个判决矩阵 A :

$A = (a_{ij})_{n \times n}, a_{ii} = 1, a_{ji} = 1/a_{ij}, a_{ij} > 0$ (16)

表1 1~9 标度法

重要性标度	两两比较重要性定义
1	两者同样重要
3	前者比后者稍微重要
5	前者比后者明显重要
7	前者比后者非常重要
9	前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示相邻判决中间值

本文的目标是获得用户偏好的网络。根据表 1, 准则层的第一层判决如表 2 所列。

表2 准则层一判决

准则层一	RSS	终端速率	QoS	费用	安全性	可用负载	历史偏好
RSS	1	3	1	7	5	4	7
终端速率	1/3	1	1/3	5	3	2	5
QoS	1	3	1	7	5	4	7
费用	1/7	1/5	1/7	1	1/3	1/5	1
安全性	1/5	1/3	1/5	3	1	1/3	3
可用负载	1/4	1/2	1/4	5	3	1	5
历史偏好	1/7	1/5	1/7	1	1/3	1/5	1

准则层二: 目的是使用户获得最好的服务, 即 QoS 最大化, 准则层选择的是时延、抖动、丢包率、可用带宽, 它们都是反应网络 QoS 的属性。由于不同的业务对 QoS 的要求是不一样的, 需要根据用户使用的业务来计算和分配属性的权重。3GPP 将 3G 业务分为 4 种服务类别, 包括会话类 (Conversational Class)、交互类 (Interactive Class)、流媒体类 (Streaming Class) 以及背景类 (Background Class), 4 类业务的要求如表 3 所列。

表3 4类业务要求

业务类型	典型业务	QoS 要求
会话类	语音与视频会议	时延低、抖动少
交互类	网页浏览、电子商务	时延低、丢包率小
流类	视频点播、FTP 下载	抖动和带宽重要
背景类	发送 E-mail、传真、短信	丢包率非常重要

表4 4类业务准则层二判决

会话类准则层二	时延	抖动	丢包率	业务带宽
时延	1	1	3	7
抖动	1	1	3	7
丢包率	1/3	1/3	1	5
业务带宽	1/7	1/7	1/5	1

其他业务根据业务要求类似定义。

(3) 层次单排序: 判决矩阵是针对准则层而言对方案进行两两比较的评定数据, 层次单排序对某一准则排出一个优先次序, 即求出判决矩阵的特征向量。这部分包括两个内容, 一是计算权重, 另一个是判决矩阵的一致性检验。

权重计算方法: 采用特征根法计算权重。判决矩阵的特征根可以通过 $\det(\lambda I - A) = 0$ 得到, 权重向量通过 $Aw = \lambda_{\max} w$ 得到, 其中 $\lambda_{\max}$ 是 A 的最大特征根, w 是相应的特征向量, 所得到的 w 经归一化后就可作为权重向量。

一致性检验: 由于判决矩阵是根据用户偏好构造的, 因此有必要对其进行一致性检验, 步骤如下:

1) 计算一致性指标 C. I. (consistency index):

$C. I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ (17)

其中, n 为判决矩阵的阶数。

2) 查找相应 n 的平均随机一致性指标 R. I.。

3) 计算一致性比例 C. R. (consistency ratio):

$C. R. = \frac{C. I.}{R. I.}$ (18)

当 $C. R. < 0.1$ 时, 即要求决策者的判断的一致性与随机生成判断的一致性之比小于 10% 时, 认为判决矩阵的一致性可以接受; 反之当 $C. R. \geq 0.1$ 时, 应该对判决矩阵进行修正, 以保

持一定程度的一致性。

2.2.3 利用 ANP 消除属性之间的依赖性

网络分析法 ANP^[8]取消了 AHP 的假定,在理论上允许决策者考虑复杂动态系统中各要素的相互作用,从而更符合决策问题的实际情况。ANP 把系统分为控制层与网络层两部分。控制层包括问题目标与决策准则,其结构与 AHP 的结构相同;而网络层由多个元素构成,其构成了相互依存反馈的网络结构,元素之间的相互依存关系可通过矩阵来表示。

ANP 的决策步骤如下:

- 基于网络模型中各要素间的相互作用,进行两两比较;
- 确定未加权超矩阵;
- 确定超矩阵中各元素组的权重;
- 计算加权超矩阵;
- 计算极限超矩阵。

准则层二属于网络层,它们之间的相互依存关系如图 3 所示,可用带宽较低会导致拥塞,进而导致丢包和到达时延的差异(抖动);过度抖动和一系列负抖动会引起丢包;一系列正抖动会导致在一段时间内平均传输时延增长。

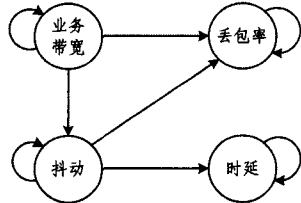


图 3 准则层二相互依存关系

2.2.4 构建效用函数

为了综合不同指标,同时有一致的性能度量,在本文的研究工作中引入了效用函数(Utility Function)这一概念。网络接入选择的结果需要多个指标构成衡量体系,这些体系之间有一定的异构性,不同的指标具有不同的单位,对业务和用户需求的满足有不同的作用。为了综合不同的指标,在计算得到各网络参数的绝对权重后,将这些元素相结合构造效用函数如下:

$$U_i = w_{\text{会话类}} * (f_{RSS_i} f_{V_i} f_{D_i} \cdots f_{S_i} f_{L_i} f_{H_i})^T \quad (19)$$

其他业务的效用函数类似定义。

通过对综合效用函数 Utility 的比较,选择一个效用值最大的网络,也就是选出的最佳网络。

3 仿真与分析

设置仿真场景为 UMTS1、UMTS2、WiMAX、WLAN1、WLAN2 组成的多网络覆盖,如图 4 所示。

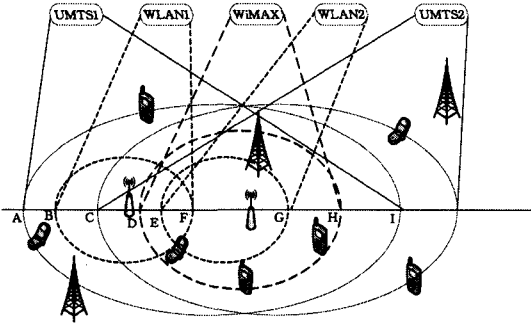


图 4 仿真场景

用户均匀地分布在图中网络所覆盖的区域,使用会话类业务,会话的到来和离开满足均值为 λ 的泊松过程,会话的持续时间满足指数分布,均值为 20s。假设用户移动时的速度都为 2m/s,初始时的运动方向是随机选择的,并且在一次会话的过程中用户的运动方向不改变。

无线传输信道模型:在仿真中使用的无线信道传输模型主要考虑两种路径损失,一是基于距离的信号衰落,另一个是阴影衰落。该模型定义如下:

$$G = G_{\text{path-loss}} + G_{\text{shadow}} \quad (20)$$

基于距离的信号衰落模型使用的是 Hata 的路径损耗模型^[14],如下:

$$G_{\text{pathloss}} = 10 \times \eta \times \log_{10} d + C \quad (21)$$

其中, d 是发送方和接收方的距离, η 是路径损耗指数, C 是一个常量,它和载波的频率、天线的尺寸等物理参数有关,在不同的系统中取值不一样。阴影衰落模型常用一个对数正态分布来表示,即 $X(\mu, \delta)$ 。根据信道模型的介绍, RSS 值的计算公式如下, P_t 是基站发射功率。

$$RSS = P_t - G \quad (22)$$

参考华为无线 UMTS 产品网络规划设计、文献[15,16],得 WLAN、Wimax、UMTS 的 RSS 计算公式如下,其中本文取 $\mu=0, \delta=3$ 。

$$RSS_{\text{WLAN}} = -40 - 33 \log_{10} d - X(\mu, \delta) \quad (23)$$

$$RSS_{\text{WiMax}} = -55 - 40 \log_{10} d - X(\mu, \delta) \quad (24)$$

$$RSS_{\text{UMTS}} = -28 - 40 \log_{10} d - X(\mu, \delta) \quad (25)$$

网络原始参数设定如表 5 所列。

表 5 网络属性参数表

参数	UMTS1	UMTS2	WiMAX	WLAN1	WLAN1
D	19	22	30	50	45
J	5	6	8	10	11
P	0.07	0.07	0.06	0.04	0.04
B	2	2	15	11	11
C	7	7	4	3	3
S	7	7	5	1	1
L	85	80	70	65	75
H	1	1	1	1	1
R	8	10	25	40	35
T	2	1.5	18	20	25
lg B	2	3	3.5	4	4.5
C	2	1.5	0.5	0.25	0.2

为了评估算法的性能,TAU-MADM 算法根据不同的会话到达率(1~10 个/s),研究网络负载变化、平均切换阻塞率和平均切换率,并与传统的基于 RSS 的算法进行对比,仿真结果如图 5—图 8 所示。

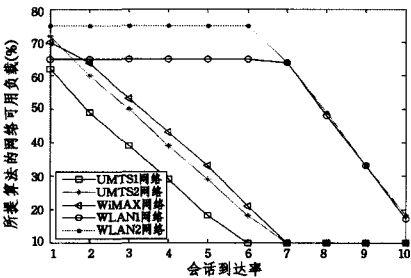


图 5 TAU-MADM 算法的各网络负载变化

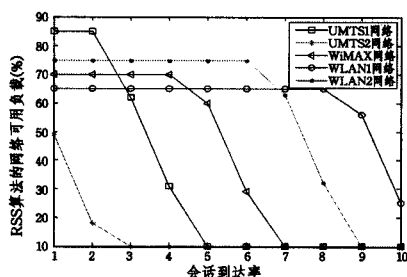


图6 RSS算法的各网络负载变化

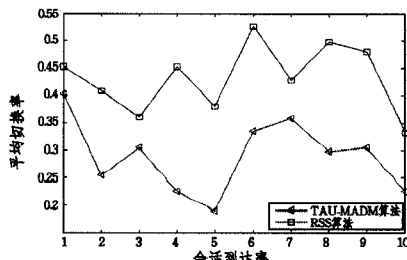


图7 平均切换率的对比图

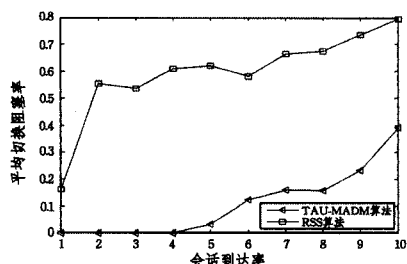


图8 平均切换阻塞率的对比图

从图5和图6可以看出,TAU-MADM算法考虑了网络资源的均衡利用以及网络负载均衡,用户均衡地接入各网络;而RSS算法没有考虑到负载均衡,直到一种网络资源全部利用完才会再选择其他网络,这会造成网络负载不均衡的现象。

平均切换率是指用户在一次会话的过程中切换的次数。对于用户来说,一次会话过程中的切换次数会影响到服务的质量。而平均切换阻塞率是指用户切换到目标网络失败的可能性,对于用户来说,切换失败会导致正在进行的会话失去连接。这两个指标对于异构网络的垂直切换评估相当重要。从图7可以看出,在平均切换率上,当会话到达率为1时,RSS算法的平均切换率为0.4,TAU-MADM算法的平均切换率为0.45,其他情况都超过这个比例,由此可见,用户使用TAU-MADM算法时,在一次会话的过程中切换的次数减少了12.5%以上。从图8可以看出,在平均切换阻塞率上,当会话到达率为10时,RSS算法的平均切换阻塞率接近0.8,TAU-MADM算法的平均切换阻塞率接近0.4,其他情况都差不多是这个比例,由此可见,用户使用TAU-MADM算法时,切换到目标网络的成功率提高了一倍以上。

结束语 本文详细介绍了基于多属性判决的网络选择算法,并通过仿真分析了算法的有效性和性能,可以看出,通过多次判决更全面地考虑了网络的实际情况。通过仿真说明了该算法能够做出智能有效的切换判决,减少切换的失败可能性和切换次数,最大化用户的满意度。

在后续研究中,可以将文中的算法和其他资源管理技术结合在一起,如呼叫接纳控制、信道分配等,从而可以为用户

提供持续、质量有保证的服务。

参考文献

- [1] Shu Tong, Liu Min, Li Zhong-cheng. A Performance Evaluation Model for RSS-based Vertical Handoff Algorithms [C]// Computers and Communications, 2009; 271-276
- [2] Bakmaz B, Bojkovic Z, Bakmaz M. Network Selection Algorithm for Heterogeneous Wireless Environment [J]. Indoor and Mobile Radio Communications, 2007, PIMRC 3-7; 1-4
- [3] Singhrova A, Prakash N. Vertical handoff decision algorithm for improved quality of service in heterogeneous wireless networks [J]. IET Communications, 2012, 6(2); 211-223
- [4] Li Jun. Integration theory and technology of heterogeneous wireless network [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009
- [5] Luo Yun-qian, Xia Jing-bo, Chen Tian-ping. Comparison of network performance evaluation methods for determining relatively objective weight [J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(10); 2624-2626, 2631
- [6] Mehbodniya A, Kaleem F, Yen K K, et al. Wireless network access selection scheme for heterogeneous multimedia traffic [J]. Networks, 2013, 2(4); 214-223
- [7] He Xin, Li Bin. Handoff technology for heterogeneous wireless network [M]. Beijing: Publishing House of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2008
- [8] Yang Bao-an, Zhang Jing-ke. Analysis theory, methods and application of multi-objective decision [M]. Shanghai: Publishing House of Donghua University, 2008
- [9] Nkansah-Gyekye Y, Agbinya J I. A Vertical Handoff Decision Algorithm for Next Generation Wireless Networks [J]. Third International Conference on Broadband Communications, Information Technology & Biomedical Applications, 2008; 358-364
- [10] Jiang Kai-yuan, Gu Xue-mai, 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
- [11] Song Qing-yang, Jamalipour A. Network selection in an integrated wireless LAN and UMTS environment using mathematical modeling and computing techniques [J]. IEEE Wireless Communications, 2005, 12(3); 42-48
- [12] Liu Bo. Study on Heterogeneous Network Access Selection Algorithm based on Analytic Hierarchy and Prediction [D]. Xi'an: Xidian University, 2011
- [13] Ma Fei, Yang Fei-xia, Xu Guang-xian. Research on Collaborative Selection and Handoff Mechanism for Networks and Terminals [J]. Computer Science, 2012, 39(1); 77-81
- [14] Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1980, 29(1); 317-325
- [15] Wang Qing-yang, Chen Xiao-dong. Calibration and Analysis of Propagation Model for 2.5GHz and 3.5GHz Band [J]. Telecommunications Science, 2008, 6(1); 52-54
- [16] Zhu Yu-hong, Xu Chang-qing. WLAN Indoor Coverage Distribution System Module [J]. Computer Engineering, 2008, 7(34); 118-119