

一种新的面向用户多业务 QoS 需求的网络接入选择算法

张媛媛^{1,2} 肖创柏¹ 王 坚²

(北京工业大学计算机学院 北京 100022)¹ (中央财经大学信息学院 北京 100081)²

摘 要 异构无线网络技术的发展、智能移动终端的普及、用户无线业务的快速增长以及 QoS 需求的个性化给网络接入选择带来巨大挑战。基于多属性决策理论和模糊逻辑理论,提出了一种新的面向用户多业务 QoS 需求的网络接入选择算法,其步骤主要包括选择预评估、构造关键参数数量化决策矩阵、层次分析参数权重、确定理想方案、综合网络评估、网络选择。实验数据表明,本算法能够准确进行网络接入触发选择,减少乒乓效应,在移动终端速度和网络负载的变化情况下,能有效地进行网络选择,很好地解决了呼叫掉线和负载不均衡的问题。

关键词 异构无线网络,接入选择,服务质量

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.3.012

New Method for User's QoS Requirement Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks

ZHANG Yuan-yuan^{1,2} XIAO Chuang-bai¹ WANG Jian²

(College of Computer Science, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)¹

(College of Information, Central University of Finance and Economics, Beijing 100081, China)²

Abstract With the advance in heterogeneous wireless networks and smart mobile terminals, user's wireless services become more and more common. The challenge is the network selection based on QoS requirement. Based on multi-attribute decision making theory and fuzzy logic, a normalization algorithm for network selection in heterogeneous wireless network was presented. It includes six main steps: network pre-selection, constructing normalized decision-making matrix, calculating analytical hierarchy weights, determining the positive-ideal and negative-ideal solution, network evaluation and network selection. Experimental results show that the proposed algorithm can trigger the handoff precisely and reduce the ping-pong effect. Moreover, when the mobile station's speed and network's load are changed, the system can select the network effectively and solve the problem of call dropping and load balancing.

Keywords Heterogeneous wireless network, Network selection, QoS

1 引言

随着通信技术的发展、智能移动终端的普及,用户对于业务的服务类型和通信质量要求不断增加。在第四代网络中,多种异构无线网络融合为用户提供在任何时间、任何地点和任何人接入高质量、高速并且高可靠度的通信已经成为现实。快速增长的无线网络业务对接入网络的选择提出巨大挑战。

传统的网络接入抉择是基于移动终端的接收信号强度(Received signal strength, RSS)。基于 RSS 的传统切换是当信号强度低于阈值时触发的切换,大多发生在同构网络之间,但是并不适用于异构无线网络环境,尤其是切换触发发生在不同的功能架构和技术特性网络环境下,这些功能和特性(包括带宽、延迟、功耗、成本等)并不能直接用于比较,在垂直切换的情况下,基于传统的网络接入选择决策不能得到有效和

智能的切换。

因此,通常情况下,移动终端处于多网络覆盖区域时,用户需要在多决策因素下做出接入选择。根据终端不同的业务需求和网络实时性能状况,使用户选择接入最合适的网络,即在满足用户需求的同时又能兼顾网络负载均衡,达到异构无线网络的高效融合。

2 相关工作

不同的应用对网络服务质量的要求不同,不同地理位置的需求不同,不同的网络价格、网络安全都影响用户对不同网络的接入选择。现实生活中,移动终端可能同时运行着多个业务,如何对每个业务都能够获得最优的网络服务是基于用户多业务服务质量(Quality of Service, QoS)需求选择网络的最终目的。

到稿日期:2014-04-17 返修日期:2014-06-16 本文受北京市自然科学基金重大项目(4110001),北京市教育委员会科技发展计划项目(KM201010005011)资助。

张媛媛(1982-),女,博士生,工程师,主要研究方向为下一代无线网络、网络性能分析等,E-mail:recona@126.com;肖创柏(1962-),男,博士,教授,主要研究方向为信号与信息处理、模式识别与智能系统等;王 坚(1975-),男,博士,讲师,主要研究方向为信号处理等。

有不少研究对网络接入选择的算法做了大量工作。文献[1]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)基于4种网络参数(包括带宽、时延、资费 and 接受信号强度)进行网络接入判决,与传统算法只考虑接收信号强度进行了分析比较;文献[2]提出了一种基于层次分析法的WLAN/蜂窝网络切换判决算法,对层次分析法的简单加权(Simple Additive Weight, SAW)和TOPSIS进行了分析比较;文献[3]提出了一种面向用户体验和速度感知的垂直切换判决算法,利用模糊数学方法分析设计速度感知模块;文献[4]提出一种基于预判模糊逻辑的垂直切换算法,主要分析的网络参量包括接收信号强度、预测信号强度和可用带宽;文献[5]提出一种基于语音业务的垂直切换判决算法,设计了基于业务切换的代价函数,分析UMTS/WLAN融合的网络环境下对方案的切换失败率;文献[6]提出了一种差值门限模糊切换算法,分析比较当前网络和目标网络的信噪比差值,进行触发并判决。以上研究存在以下缺陷:

- (1)网络参数层面决策参数涉及面太窄,一些方法采用简单的属性参数判决方法,缺少对系统全局信息的整体控制,不能完整动态地反映网络实时环境,导致网络资源的浪费。
- (2)未重视用户业务类型对网络服务质量的不同需求,分布式的接入选择导致大量用户集中,引起网络阻塞。
- (3)缺少网络接入预评估,无法保证切换判决的准确性,错误判决造成频繁切换,即“乒乓效应”。
- (4)模糊数学规则过于繁重,导致计算复杂,不利于接入选择的高效和实时的实现。

针对以上缺陷,本文提出了一种基于用户QoS需求的异构无线网络接入选择算法。该算法针对用户在不同应用场景下的实际需求,基于多属性的模糊决策算法理论,综合考虑因素包括网络性能、用户信息和以不同通信场景应用需求为前提的业务类型,利用层次分析法将关键因子进行量化,确定网络参数权重值,使用目标决策函数将不同备选网络的参数值和测量权重的方法有效结合起来,得到备选网络贴近度值,选择接入贴近度值最大的网络。

3 算法描述与分析

异构无线网络实现的不仅是网络间的融合,更是可以满足用户永远获得最佳连接(Always Best Connected, ABC)的网络服务。接入选择是移动终端在无线网络重叠覆盖区域中选择合适的网络进行接入,保证用户的服务质量,同时使得整个网络的资源得到有效利用。现有的接入研究大多是针对网络状态的,但随着用户无线业务的爆炸式增长,任何单一的无线技术都无法提供满足用户需求的满意服务,更需要针对用户状态在各种无线网络间进行接入选择。

3.1 收集参数

首先,获取系统参数。参数的采集来自网络、终端和用户3个方面。网络相关的参数一部分由终端的网络接口进行监测和采集,另一部分由网络相应实体采集,并通过广播消息周

期性地通知移动终端。获取的参数包括网络服务质量信息(延时、抖动、丢包率和吞吐量)、网络负载情况、网络价格和网络安全性的。移动终端的相关参数主要是指终端的移动速度和位置,主要由终端自身GPS模块采集。用户决定的业务类型参数来自上层不同应用对服务质量提出的相应要求。3GPP将业务类型划分为4类:会话式、流媒体式、交互式 and 背景式。表1是4种业务类型的参数说明。

表1 4种业务类型参数说明

业务类型	传输方式	重要参数	一般参数	示例描述
流媒体式	单向传输	抖动和吞吐量	端到端的延时	用户观看视频
交互式	双向传输	延时和丢包率	抖动和吞吐量	聊天
会话式	双向传输	延时和抖动	丢包率和吞吐量	视频会议
背景式	单向传输	丢包率	延时、抖动和吞吐量	发短信或发e-mails

3.2 网络评估

当用户发起新的业务或当前网络的服务质量不能满足业务需要时,对备选网络进行接入的预评估。根据灰色预测公式^[7,11],得到备选网络接收信号强度的预测值,将预测值与保持业务基本链接的信号强度阈值进行比较,低于阈值时需要保持原链接。对备选网络信号强度是否衰减的预评估,对将可能发生的网络接入起到降低呼叫掉线率、提高判决精度的作用。

收集接收信号强度的 n 个采样值,使用灰色预测分析方法,利用估计公式对接收信号强度进行预测,其中 a 为发展灰数, b 为内生控制灰数,用最小二乘法求生成序列的参数 a 和 b ,得到预测信号强度值,检测网络是否处于强度衰减来触发切换,将其作为接入选择指标之一。

$$\hat{x}^{(0)}(n+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}]e^{-an} (1 - e^a) \quad (1)$$

在 N 个网络共存的情况下,接入选择算法综合考虑决策属性集合为: $ATTR = \{attr_1, attr_2, \dots, attr_m\}$ 。其中包括6个主要因素:预测的接收信号强度(R)、服务质量(Q)、移动速率(v)、网络负载(L)、安全(S)和价格(C),即 $ATTR = \{R, Q, v, L, S, C\}$ 。

用户基于每个业务类型选择网络时,综合考虑6个参数,这些不同的参数在量纲、单位上各不相同,需要对参数值进行去量纲化,来获得每种业务对网络QoS方面的需求。为了解决属性值的不确定性和不准确性,本文对决策矩阵利用模糊量化决策算法(Fuzzy Quantitative Decision Algorithm, FQDA)完成去量纲化,算法包括3个步骤:模糊化、模糊推理和解模糊。接入选择矩阵 A 表示 N 个不同接入网络在 M 个决策属性下的取值,即决策矩阵:

$$A = (a_{mn})_{N \times M} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1M} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{NM} \end{bmatrix} \quad (2)$$

FQDA是利用并行模糊接口系统来判断移动终端选择或

拒绝某个特定网络的概率,将不同参数量化到[0-1]范围内。首先,根据采样当前值来确定{低,中,高}的模糊结果,将属性参数采样后,确定最大、最小值,利用等间距的原则进行划分。为计算方便,使用梯形隶属度函数 $f(x)$ 来确定其隶属度,其中, l 为最小值, u 为最大值, c 为中心值, w 为宽度值。再根据模糊规则和解模糊器,得到不同参数的量化值。模糊模块的计算量相对大,运算复杂度估计为 $O(n \times k^m)$, n 为网络个数, m 为网络参数个数。本文通过引入并行模糊接口系统(如图 1 所示)来降低模糊规则复杂度,如图 2 所示。

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < l; x > u \\ \frac{x-l}{c-\frac{w}{2}-l}, & l < x < (c-\frac{w}{2}) \\ \frac{u-x}{u-\frac{w}{2}-c}, & (c+\frac{w}{2}) < x < u \\ 1, & (c-\frac{w}{2}) < x < (c+\frac{w}{2}) \end{cases} \quad (3)$$

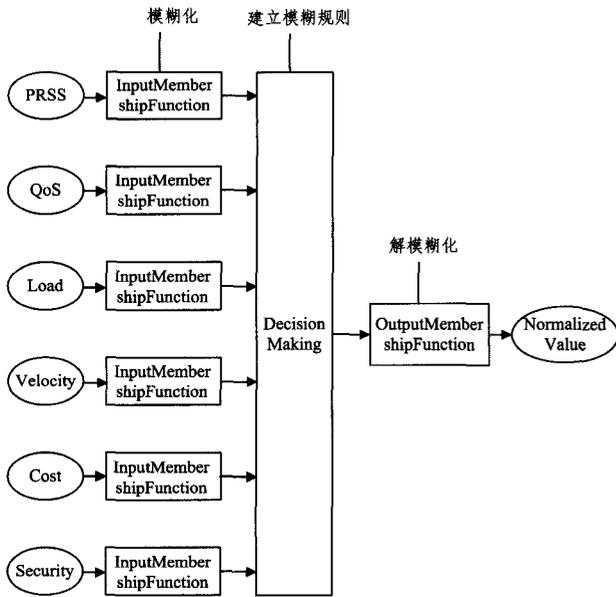


图 1 并行模糊接口系统

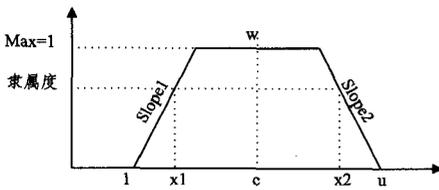


图 2 梯形隶属度函数

D 表示 N 个不同接入网络在 M 个决策属性下的量化值。

$$D = (d_{nm})_{N \times M} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1M} \\ d_{21} & d_{22} & \cdots & d_{2M} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{N1} & d_{N2} & \cdots & d_{NM} \end{bmatrix} \quad (4)$$

合适的权重分配是保证 QoS 的关键,利用关键参数的层次结构图(如图 3 所示),针对不同业务类型对服务质量的不同要求,通过两两比较的方式确定层次中各参数的相对重要

性,得到权重矩阵。将参数目标分层设计,6 个决策属性作为第一层指标,第二层指标是针对不同的业务类型服务质量需求,包括延时、抖动、丢包率和吞吐量。定义决策属性矩阵后,考虑不同属性之间的权重系数,体现不同属性对网络选择的重要程度。当多种业务 QoS 需求存在矛盾时,通过层次分析法得到的权重分配可以解决需求矛盾。用权重向量 W 表示不同属性的权重指,表达式为:

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_M] \quad (5)$$

其中, $0 \leq w_j \leq 1, \sum_{j=1}^M w_j = 1, M$ 为候选网络的决策属性个数, $M=9$ 。

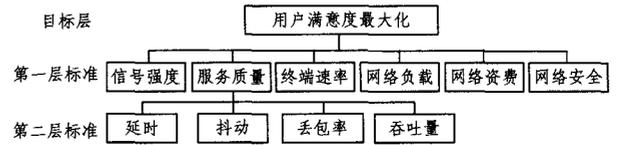


图 3 关键参数层次分析结构图

3.3 网络选择

构建备选网络的加权决策矩阵,利用接近理想方案的序数偏好算法(Techniques for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS)选择最佳网络接入。算法核心思想^[16-19]是先假设一个正理想方案和一个负理想方案,确定各个备选方案与正、负理想方案的距离,最优的理想方案应该离正理想解距离最近且离负理想解最远。其中的距离为加权后的欧几里得距离。

对决策矩阵 D 进行规范化处理,得到:

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m d_{ij}^2}}, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,N \quad (6)$$

建立关于权重的规范化矩阵,权重的规范化矩阵 v_{ij} 为:

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,N \quad (7)$$

其中, w_j 是第 j 个指标的权重。根据权重规格化值 v_{ij} 来确定正理想解 A^+ 和负理想解 A^- 。

$$\begin{aligned} A^+ &= (v_1^+, v_2^+, \dots, v_N^+) \\ &= \{(\max, v_{ij} | j \in C_B), (\min, v_{ij} | j \in C_C)\} \\ A^- &= (v_1^-, v_2^-, \dots, v_N^-) \\ &= \{(\min, v_{ij} | j \in C_B), (\max, v_{ij} | j \in C_C)\} \end{aligned} \quad (8)$$

其中, C_B 代表正指标类参数, C_C 代表逆指标类参数。

通过 N 维欧几里得距离来计算每个目标参数到正理想解和负理想解的距离。

目标参数到正理想解的距离为 S_i^+ , 到负理想解的距离为 S_i^- :

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

计算与理想解的贴近度:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (10)$$

其中, $0 \leq C_i \leq 1$ 。当 $C_i = 0$ 时,表明该目标为最劣目标;当 $C_i = 1$ 时,表明该目标为最优目标。比较贴近度值,选择贴近度最大的网络进行接入。

4 仿真和结果分析

4.1 仿真环境与参数设置

仿真使用了 IBM ThinkPad R61 型号的手提电脑,配置为 Inter(R) Core(TM)Duo CPU T8100 2.10GHz,1G 的内存,仿真软件为 Matlab7.0.1。通信场景为无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)、无线城域网(Wireless Metropolitan Area Network, WMAN)和无线广域网(Wireless Wide Area Network, WWAN)覆盖区域,仿真参数如表 2 所列。

表 2 主要仿真参数

网络参数	WLAN	WMAN	WWAN
PRSS(dbm)	-114.05	-137.4	-116.1
Delay (ms)	130	20	10
Jitter (ms)	27	5	4
PLR (loss per bytes)	3	4	3
Throughput (Mbps)	70	60	1.5
NW-Load (%)	20	30	40
Security (1-10)	1	5	7
Cost(1-10)	3	4	7
MS-Velocity(m/s)	2	2	2

将表 2 中的参数并行输入到模糊逻辑控制器,完成仿真参数的量化,如表 3 所列。

表 3 量化参数

网络量化参数	WLAN	WMAN	WWAN
PRSS(dbm)	0.42	0.65	0.65
Delay (ms)	0.65	0.25	0.25
Jitter (ms)	0.95	0.65	0.25
PLR (loss per bytes)	0.25	0.65	0.65
Throughput (Mbps)	0.45	0.8	0.65
NW-Load (%)	0.01	0.01	0.5
Security (1-10)	0.25	0.5	0.75
Cost(1-10)	0.25	0.36	0.75
MS-Velocity(m/s)	0.03	0.73	0.94

本文将参数速率的模糊逻辑规则与网络类型相关联,WLAN 倾向选择低速的移动终端,高速终端倾向于 WWAN。因此,表 3 中速率在不同网络中的量化值不同。

根据模糊层次分析法得到的各关键参数权重如表 4 所列。

表 4 权重参数

参数权重	会话式	流量式	交互式	背景式
PRSS	0.3271	0.3271	0.3271	0.3271
Delay	0.1077	0.0136	0.085	0.0163
Jitter	0.1228	0.0573	0.0428	0.0342
PLR	0.0307	0.0561	0.0987	0.1163
Throughput	0.066	0.2001	0.1005	0.1604
NW-Load	0.1087	0.1087	0.1087	0.1087
Security	0.0591	0.0591	0.0591	0.0591
Cost	0.0314	0.0314	0.0314	0.0314
MS-Velocity	0.1466	0.1466	0.1466	0.1466

4.2 仿真结果分析

当用户在不同移动速率下,移动终端收集到备选网络参数,利用并行模糊量化算法将参数进行归一化处理,不同业务类型的服务质量要求不同,根据层次分析法确定相对权重,得

到决策矩阵,代入 TOPSIS 算法中,得到备选网络的贴近度值,从而判定接入网络。图 4—图 7 示出了各业务类型的接入选择网络。

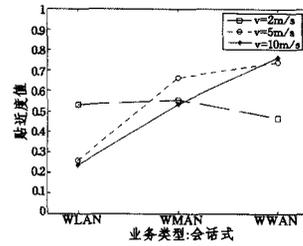


图 4 不同移动速度下会话式业务接入网络选择

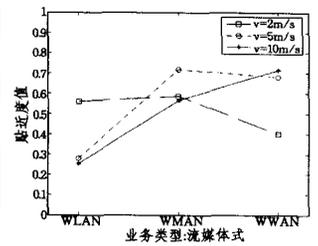


图 5 不同移动速度下流媒体式业务接入网络选择

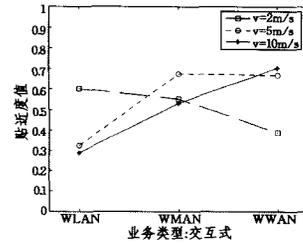


图 6 不同移动速度下交互式业务接入网络选择

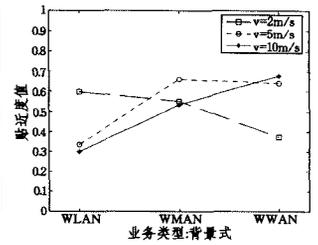


图 7 不同移动速度下背景式业务接入网络选择

从图 4—图 7 中可以看出:4 种业务类型在备选网络中的贴近度值在低速情况下,流量式和会话式业务需要的吞吐量较大,延时和抖动较小,因此倾向于选择 WMAN。交互式和背景式业务选择 WLAN 可以满足用户需求,尽管 WLAN 的 RSS 较低,但是其他因素如速率、网络负载和价格影响两种业务最终选择接入 WLAN。随着用户移动速度的变化,会话式业务选择 WWAN 来保证通信需求,其他业务倾向于选择 WMAN。高速情况下,各业务均选择 WWAN 来保证服务质量和网络连接。

进一步考虑网络负载的变化,在首选网络负载为 100% 的情况下,本文提出的算法可以智能切换到第二选择网络,动态适应网络负载的变化,降低呼叫阻塞率。如图 8 所示,在移动终端低速情况下,首选网络负载为 100% 时各业务接入选择的网络。会话式和流媒体式业务的首选网络 WMAN 负载增加时,系统智能选择次选网络 WLAN 进行接入。当交互式和背景式业务的首选网络 WLAN 负载增加时,系统智能切换到 WMAN 动态适应网络状态的变化,达到负载均衡的目的。

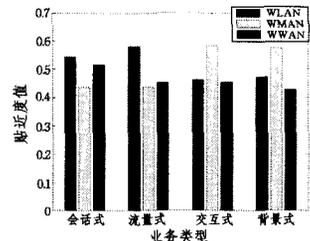


图 8 低速情况下首选网络负载为 100%

将本文算法与简单加权(Simple Additive Weight, SAW)算法进行比较,SAW 是多属性决策中最常用的方法,其计算方法为先将各属性进行归一化,再计算各备选网络 n 的加权

和 $C[n]$, 根据 $C[n]$ 的大小对各个方案进行排序, 值越大表示该方案越好。图 9—图 12 示出了低速情况下业务类型基于两种算法得出的网络评估值。可以看出: 会话式业务基于 SAW 的首选网络为 WWAN, 局限于考虑抖动带给会话式业务的影响, 忽略了对其他因素的考虑, 无法均衡多种业务不同的 QoS 需求, 因此导致网络 QoS 下降, 达不到用户满意度水平。另外, SAW 算法对速率不敏感, 当速率参数变化时, 并不能影响网络选择的变化, 从而引起网络阻塞。

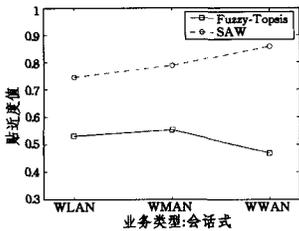


图 9 两种算法下会话式业务接入网络选择

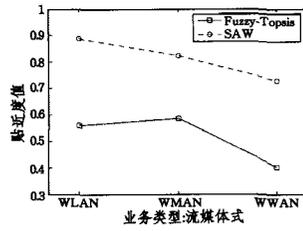


图 10 两种算法下流媒体式业务接入网络选择

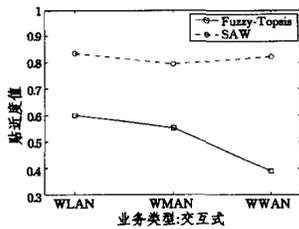


图 11 两种算法下交互式业务接入网络选择

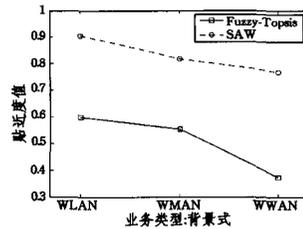


图 12 两种算法下背景式业务接入网络选择

结束语 本文提出一种基于用户多业务 QoS 需求的异构无线网络接入选择算法, 该算法采用了模糊决策算法对关键参数并行进行参数量化, 从而获得各类业务对网络 QoS 方面的需求量化值。根据业务通信服务质量需求, 对参数权重进行层次化分析, 采用接近理想方案的序数偏好算法对备选网络评估, 进行网络接入选择。仿真结果表明, 当考虑移动终端的移动速度加快时, 基于业务类型能有效选择接入网络。当网络负载加重时, 该算法能智能切换到备选网络, 实现了在用户面临多业务流多备选网络选择的前提下, 充分考虑用户业务需求的多样性和网络实时状态, 能够有效地进行满意网络选择, 更好地适应异构无线网络环境需求。下一步工作将对算法在多用户环境中的性能做出分析评估, 同时对算法性能进行理论分析和评估。

参考文献

- [1] 张继荣, 高盈. 基于 TOPSIS 的自适应垂直切换算法研究[J]. 西安邮电大学学报, 2013, 18(1): 22-26
- [2] 刘军, 李晓楠. 基于层次分析法的 WLAN/蜂窝网络切换判决算法[J]. 通信学报, 2013, 34(2): 66-73
- [3] 李彬, 刘胜美. 基于移动预测的垂直切换算法[J]. 通信与网络, 2013, 39(1): 93-95
- [4] 宁磊, 郭庆, 等. 面向用户体验和速度感知的垂直切换判决算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2013, 45(9): 1-6
- [5] 刘侠, 蒋铃鸽, 等. 一种基于模糊逻辑的预判决策辅助垂直切换算法[J]. 电子学报, 2007, 35(10): 1899-1994
- [6] 张天魁, 邱禹. 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
- [7] Singhrova A, Prakash N. Vertical handoff decision algorithm for improved quality of service in heterogeneous wireless networks [J]. IET Commun., 2012, 6(2): 211-223
- [8] Liu Xia, Jiang Ling-ge, Chen He. A Novel Fuzzy Logic Vertical Handoff Algorithm with Aid of Differential Prediction and Pre-Decision Method [C] // IEEE Communications Society. 2007; 5665-5670
- [9] Ge Kun, Ji Hong, Li Xi. A Speed Sensitive Vertical Handoff Algorithm Based On Fuzzy Control [J]. IEEE Communications Magazine, 2009, 7(5): 113-119
- [10] Alkhwilani M M, Alsalem K A, et al. Multi-criteria vertical handover by TOPSIS and fuzzy logic [C] // Communications and Information Technology (ICCIT). 2011; 96-102
- [11] Sgora A, Gizelis C A, Vergados D D. Network selection in a WiMAX-WiFi environment [J]. Pervasive and Mobile Computing, 2011, 7: 584-594
- [12] Rinne J. 3GPP Specification Details [S]. TS 23. 107
- [13] Mikhailov L, Tsvetinov P. Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process [J]. Applied Soft Computing, 2004, 5 (12): 23-33
- [14] Lamata M T. Ranking of alternatives with ordered weighted averaging operators [J]. Int J Intell Syst, 2005, 19(5): 473-482
- [15] Ge Kun, Ji Hong, Li Xi. A Speed Sensitive Vertical Handoff Algorithm Based On Fuzzy Control [J]. IEEE Communications Magazine, 2009, 7(5): 113-119
- [16] Chamodrakas I, Martakos D. A utility-based fuzzy TOPSIS method for energy efficient network selection in heterogeneous wireless networks [J]. Applied Soft Computing, 2012, 12 (2): 1929-1938
- [17] Kantubukta V, Maheshwari S, et al. Energy and quality of service aware FUZZY-technique for order preference by similarity to ideal solution based vertical handover decision algorithm for heterogeneous wireless networks [J]. The Institution of Engineering and Technology, 2013, 2(3): 103-114
- [18] Chang Yu-hern, Yeh Chung-hsing, et al. A new method selection approach for fuzzy group multicriteria decision making [J]. Applied Soft Computing, 2013, 13(2): 2179-2187
- [19] Chamodrakas I, Martakos D. In-depth analysis and simulation study of an innovative fuzzy approach for ranking alternatives in multiple attribute decision making problems based on TOPSIS [J]. Applied Soft Computing, 2012, 11(3): 900-907
- [20] Khalaf G A F M, Badr H Z. A comprehensive approach to vertical handoff in heterogeneous wireless networks [J]. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 2013, 25(9): 197-205