

## 基于主客观权重判决的异构无线网络接入选择算法

王运明<sup>1,3</sup>, 陈波<sup>2,3</sup>, 周敏<sup>3</sup>, 张云贺<sup>3</sup>

(1. 大连交通大学 电气信息工程学院, 辽宁 大连 116028; 2. 岭南师范学院 机电工程学院, 广东 湛江 524048;  
3. 大连大学 信息工程学院, 辽宁 大连 116622)

**摘要:** 为确保异构无线网络接入选择算法能够从备选网络中选择出性能最优的无线网络, 提出一种新的异构无线网络接入选择算法。利用模糊层次分析法计算异构无线网络属性指标的主观权重, 并运用粗糙集理论计算客观权重, 根据业务需求对主客观权重进行动态调整, 以达到最佳的服务质量。实验结果表明, 该算法可降低网络切换频率, 减少网络阻塞的发生概率, 有效均衡网络负载, 并能够较好地选择最佳的接入网络。

**关键词:** 异构无线网络; 接入选择; 主客观权重; 模糊层次分析; 粗糙集理论

开放科学(资源服务)标志码(OSID):



**中文引用格式:** 王运明, 陈波, 周敏, 等. 基于主客观权重判决的异构无线网络接入选择算法[J]. 计算机工程, 2019, 45(11):107-111, 120.

**英文引用格式:** WANG Yunming, CHEN Bo, ZHOU Min, et al. Heterogeneous wireless network access selection algorithm based on subjective and objective weight judgment[J]. Computer Engineering, 2019, 45(11):107-111, 120.

## Heterogeneous Wireless Network Access Selection Algorithm Based on Subjective and Objective Weight Judgment

WANG Yunming<sup>1,3</sup>, CHEN Bo<sup>2,3</sup>, ZHOU Min<sup>3</sup>, ZHANG Yunhe<sup>3</sup>

(1. School of Electrical and Information Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, Liaoning 116028, China;  
2. College of Mechanical and Electronical Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang, Guangdong 524048, China;  
3. School of Information Engineering, Dalian University, Dalian, Liaoning 116622, China)

**[Abstract]** To address the problem that the current heterogeneous wireless network access selection algorithm has difficulty in selecting the best wireless network from the alternative networks, we propose a new heterogeneous wireless network access algorithm. First, we use the fuzzy hierarchy analysis method to calculate the subjective weight of the attribute index of heterogeneous wireless networks. Then, we use the rough weight to calculate the objective weight. Finally, according to the service requirement, we dynamically adjust the subjective and objective weights to select the best access network. Experimental results show that the proposed algorithm can reduce the network switching frequency and congestion occurrence probability, effectively balance the network load and perform better in selecting the best access network.

**[Key words]** heterogeneous wireless network; access selection; subjective and objective weight; fuzzy hierarchy analytic; rough set theory

DOI:10.19678/j.issn.1000-3428.0052898

### 0 概述

移动通信技术的发展使现有的无线网络类型和数量不断增加, 由不同运营商提供的差异化服务和异质通信模式使得无线网络存在异构性。现有的异构无线网络主要有无线局域网(WLAN)、全球移动

通信系统(GSMC)、通用移动通信系统(UMTS)、全球微波互联接入(WIMAX)以及微基站小区等。多种类型的无线网络共存且相互融合是异构无线网络的特性。异构无线网络的出现, 使得移动用户通过终端接入设备能够随时无缝接入业务需要的无线网络, 可为用户提供稳定的网络服务, 丰富用户的

**基金项目:** 装备发展部预研领域基金(61400010303); 辽宁省教育厅科学研究项目(JDL2019019)。

**作者简介:** 王运明(1987—), 男, 讲师, 主研方向为异构无线网络; 陈波, 教授、博士生导师; 周敏、张云贺, 硕士研究生。

**收稿日期:** 2018-10-17 **修回日期:** 2018-12-06 **E-mail:** wang19871128@126.com

业务类型<sup>[1-3]</sup>。然而,用户如何从异构无线网络中选择接入最优网络是提高用户服务质量需要解决的难点问题,其已成为目前的研究热点。

接入选择一般都是通过当前网络的资源剩余量、信号强度以及用户的移动性等因素综合判别出每个网络的特点<sup>[4]</sup>,再结合用户自身的偏好特征,将该区域下的所有备选网络按照优先等级排序,最后用户根据等级序列选择接入最适合的备选网络<sup>[5]</sup>。常见的接入选择算法主要从业务类型、博弈论、负载均衡的角度展开研究<sup>[6]</sup>。基于业务类型的接入选择算法根据移动用户的需要,从备选的无线网络中选择出性能最佳的无线网络接入,以保证用户的 QoS 需求<sup>[7]</sup>。文献[8]通过考虑网络资源利用率、业务阻塞率和负载均衡等指标建立异构无线网络的多目标优化模型,并利用组合隶属度函数和遗传算法求解最优解,虽然增强了网络资源的利用率,但网络 QoS 有待进一步提高。文献[9]提出一种基于多目标进化的接入控制算法,引入基于分解的多目标进化算法进行初步寻优,并通过非支配排序得到最优解集,即最佳接入方案。基于博弈论的接入选择算法主要用于解决移动用户和接入网络之间的均衡问题。文献[10]依据不同接入网络以及接入用户之间的合作与竞争关系,引入博弈论方法,建立基于博弈论的异构无线网络接入选择方法。文献[11]提出一种多目标的网络接入选择算法,依据演化博弈论将异构无线网络相互融合构成一个整体集合,每一个备选网络视为一个非空子集,考虑功耗和吞吐量 2 个因素,并结合雅克比矩阵局部稳定性分析法对网络的负载问题分解讨论。负载均衡是评估网络性能好坏的关键指标<sup>[12]</sup>,负载均衡算法最大的特性体现在负载分配方面,合理的分配策略能够增强网络的稳定性,但是该算法多数以整个异构无线网络为中心,使得用户的体验度较低。

本文提出一种基于改进主客观权重判决的异构无线网络接入选择算法。利用模糊层次分析法和粗糙集理论分别计算异构无线网络属性指标的主、客观权重,根据业务需求进行动态调整,以选择出最佳的接入网络。

## 1 主客观权重判决算法

### 1.1 基于 FAHP 的主观权重判决算法

异构无线网络在接入选择过程中存在多种属性指标需要判决,对于判决矩阵的要求较高。现有层次分析法的判断矩阵的一致性存在差异性,本文将模糊理论与层次分析法相结合,提出基于 FAHP 的主观权重判决算法,并采用三角模糊数(TFN)对网络属性的各个指标进行定量化处理,量化得到的矩阵即为模糊判断矩阵。

首先定义三角模糊数的重要度,将各项属性指

标综合考虑,为后续模糊判决矩阵的构建提供依据,三角模糊数的重要度如表 1 所示。

表 1 三角模糊数的重要度

重要度	定义	TFN 函数	TFN 倒数
1	一般重要	(1,1,1)	(1,1,1)
2	中间值	(1/2,3/4,1)	(1,4/3,2)
3	比较重要	(2/3,1,3/2)	(2/3,1,3/2)
4	中间值	(1,3/2,2)	(1/2,2/3,1)
5	很重要	(3/2,2,5/2)	(2/5,1/2,2/3)
6	中间值	(2,5/2,3)	(1/3,2/5,1/2)
7	非常重要	(5/2,3,7/2)	(2/7,1/3,2/5)
8	中间值	(3,7/2,4)	(1/4,2/7,1/3)
9	极其重要	(7/2,4,9/2)	(2/9,1/4,2/7)

异构无线网络的属性指标大致分为网络自身属性指标和接入过程属性指标。网络自身属性指标由信号强度(RSS)、服务质量(QoS)、历史偏好(UP)、网络负载(NL)、安全等级(NS)、网络资费(NC)构成;接入过程属性指标由时延、抖动、丢包率、业务带宽构成。以上这些属性指标信息一部分是业务需求设定的数据指标,另一部分是网络接入过程中产生的数据,能够较好地反映出整个即将接入的无线网络优劣<sup>[13-14]</sup>。

异构无线网络属性较多,不同业务类型所侧重的需求也不尽相同,需要权衡多个属性的综合指标,再依据业务的实际需求情况选择最佳的接入网络。上述问题即多属性决策问题,在利用 FAHP 算法进行多属性决策时,每个属性的权重值决定了决策结果的精确性,因此,权重计算是算法的重要环节。

针对不同类型业务采用 FAHP 计算多属性权重的具体步骤如下:

#### 1) 计算 AHP 判决矩阵

假设对网络选择产生影响的  $n$  个指标参数为  $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 。从多个决策者中获得属性两两对比,即可得到 AHP 判决矩阵  $A^p$ :

$$A^p = [a_{ij}^p]_{m \times n} = \begin{bmatrix} a_{11}^p & a_{12}^p & \dots & a_{1n}^p \\ a_{21}^p & a_{22}^p & \dots & a_{2n}^p \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1}^p & a_{n2}^p & \dots & a_{nn}^p \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,  $p$  是决策者的编号,  $p = 1, 2, \dots, t$ ,  $a_{ij}$  表示单个决策因子  $i$  和  $j$  之间的相对重要性程度,且满足  $a_{ii} = 1$ ,  $a_{ij} \times a_{ji} = 1 (i, j = 1, 2, \dots, n)$ 。

#### 2) 确定三角模糊数

在构建 FAHP 判决矩阵之前,首先确定三角模糊数( $l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}$ ),代表多重决策者的三角模糊数确定方法如下:

$$l_{ij} = \min_p (a_{ij}^p), m_{ij} = \frac{\sum_{p=1}^t a_{ij}^p}{p}, u_{ij} = \max_p (a_{ij}^p) \quad (2)$$

其中,  $l, m, u$  分别代表三角模糊数的最小、最有可能和最大的取值。

3) 构建 FAHP 判决矩阵

建立包含三角模糊数的 FAHP 判决矩阵为:

$$\tilde{A} = (\tilde{a}_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} (l, l, l) & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & \cdots & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & (l, l, l) & \cdots & (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & \cdots & (l, l, l) \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中,  $(\tilde{a}_{ji}) = [\tilde{a}_{ij}]^{-1} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})^{-1} = \left(\frac{1}{l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}}\right)$ 。

4) 计算指标综合程度值

根据模糊判断矩阵计算每个指标的综合程度值,具体方法如下:

$$\tilde{s}_i = \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \times \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right]^{-1} \quad (4)$$

其中,  $\sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} = \left( \sum_{j=1}^n l_{ij}, \sum_{j=1}^n m_{ij}, \sum_{j=1}^n u_{ij} \right)$ ,  $\left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{a}_{ij} \right]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n u_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_{ij}}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n l_{ij}} \right)$ 。

5) 比较模糊数的程度值

由下式可计算模糊数之间的程度值:

$$V(\tilde{s} \geq \tilde{s}_i) = V[(\tilde{s} \geq \tilde{s}_1), (\tilde{s} \geq \tilde{s}_2), \dots, (\tilde{s} \geq \tilde{s}_k)] \quad (5)$$

$$V(\tilde{s} \geq \tilde{s}_i) = \min \{ V(\tilde{s} \geq \tilde{s}_i) \} \quad (6)$$

其中,  $(\tilde{s}_1 \geq \tilde{s}_2)$  和  $(\tilde{s}_2 \geq \tilde{s}_1)$  的可能性程度为:

$$V(\tilde{s}_1 \geq \tilde{s}_2) = \begin{cases} 1, m_1 \geq m_2 \\ 0, l_2 \geq u_1 \\ \frac{l_2 - u_1}{(m_1 - u_1) - (m_2 - l_2)}, \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

$$V(\tilde{s}_2 \geq \tilde{s}_1) = \begin{cases} 1, m_2 \geq m_1 \\ 0, l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

6) 计算权重向量

假设  $w'_i = \min \{ V(\hat{S}_i \geq \hat{S}_k) \}$ , 则权重向量为:

$$X = (w'_1, w'_2, \dots, w'_i, \dots, w'_n)^T \quad (9)$$

通过以上 FAHP 算法,对每种业务需求以及网络的各项参数进行相应的分析,依据业务的重要程度和网络参数的各项变化,计算相应的权重值。

1.2 基于粗糙集理论的客观权重判决算法

粗糙集理论由波兰数学家 Pawlak Z 于 1982 年创立,其具有超强的数学分析能力,能够处理不完整、不精确和不一致的信息数据。

粗糙集理论的核心是知识库,利用无线网络的各种属性指标构建不同数据集合即知识集合,将所

有知识集合汇集成一个大的集合就形成了知识库。本文主要是依据条件属性集和决策属性集 2 个重要的属性集合。利用粗糙集理论计算属性指标权重值的具体步骤如下:

1) 建立判决矩阵。首先整合所有参与计算的属性指标数据,确定条件属性集和决策属性集。决策属性集中决策表的行表示决策的对象,决策表的列表示决策对象的属性,即备选网络方案和备选网络的属性。选取的作为条件属性的评估指标有业务平均阻塞率、无线信号强度、运营商的收费标准以及网络负载率等,其用户表示为  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ ;而作为决策属性的评估指标为网络性能水平值,其用户表示为  $P' = \{p_{n+1}\}$ 。备选的异构无线网络集为  $N = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$ 。每个网络以及其属性指标组成的多属性判决矩阵  $A$  为:

$$A = (a_{ij})_{m \times n} = \begin{matrix} & p_1 & p_2 & \cdots & p_n \\ \begin{matrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (10)$$

2) 规范化处理。判决矩阵中存在着部分冗余数据,且不同的属性其量纲也不相同,需要对判决矩阵进行相应的规范化处理,以降低计算带来的复杂度和误差率。

属性包括成本型和效益型 2 类,成本型如阻塞率,其值越小越好,规范化处理过程如下:

$$b_{ij} = \frac{(a_{ij})_{\max} - a_{ij}}{(a_{ij})_{\max} - (a_{ij})_{\min}}, i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

效益型属性如信号强度等,与成本型相反,属性值越大越好,规范化处理过程如下:

$$b_{ij} = \frac{a_{ij} - (a_{ij})_{\min}}{(a_{ij})_{\max} - (a_{ij})_{\min}}, j = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

由此可得,规范化后的决策矩阵  $B$  可表示为:

$$B = (b_{ij})_{m \times n} = \begin{matrix} & p_1 & p_2 & \cdots & p_n \\ \begin{matrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (13)$$

3) 计算依赖度。决策属性  $P'$  对条件属性  $P$  的依赖度为  $\gamma_p(P')$ , 表示为:

$$\gamma_p(P') = \frac{Card(POS_p(P'))}{Card(U)}, 0 \leq \gamma_p(P') \leq 1 \quad (14)$$

其中,  $POS_p(P')$  表示知识  $R$  的正域,  $Card()$  表示集合的基数。

决策属性  $P'$  对条件属性  $P - p_i$  的依赖度为:

$$\gamma_{C-p_i}(P') = \frac{Card(POS_{P-p_i}(P'))}{Card(U)}, 0 \leq \gamma_{C-p_i}(P') \leq 1 \quad (15)$$

4) 计算重要度。第  $i$  个条件属性在所有评价指标集合中的重要度表达式为:

$$\sigma'_p(p_i) = 1 - \frac{\gamma_{p-p_i}(P')}{\gamma_p(P')} \quad (16)$$

5) 计算客观权重值。对重要度  $\sigma'_p(p_i)$  进行权值归一化处理, 则客观权值为:

$$Y_i = \frac{\sigma'_p(p_i)}{\sum_i \sigma'_p(p_i)}, i = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

因此, 利用粗糙集理论得到的网络属性权值向量为:  $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_n]$ 。

## 2 异构网络接入选择算法

为使移动用户接入的无线网络性能最优, 本文对以上求取的主观权重和客观权重进行综合处理, 并依据用户业务的实际需求, 动态调整主客观权重比, 使用户能够达到最佳的服务质量。由此, 引入一个动态调整主客观权重比的参数  $\alpha$ , 根据用户的实际业务要求, 自主选取与之相对应的参数  $\alpha$ 。将主客观权重进行综合计算, 综合权重向量  $W$  表达式为:

$$W = \alpha X + (1 - \alpha) Y, 0 < \alpha < 1 \quad (18)$$

其中,  $X$  表示主观权重向量,  $Y$  表示客观权重向量,  $\alpha$  根据实际的业务要求确定相应数值。

由于综合权重向量  $W$  都是依据方向向量来选取最优方案, 因此可以通过比较与最优方案的距离来判别方案的好坏。与理想方案的距离越近, 方案越优, 反之, 与理想方案的距离越远, 方案越差。这里提到的距离都是经过相应的加权后的欧几里得距离。此外, 理想方案的构成则是选取无线网络属性指标的最优值。具体选择过程如下:

1) 对决策矩阵  $B$  进行归一化处理, 可得标准化矩阵  $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 。

$$r_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m d_{ij}^2}}, j = 1, 2, \dots, n \quad (19)$$

其中,  $d_{ij}$  为矩阵  $B$  对应的位置元素值,  $m$  为候选网络数,  $n$  为属性元素数。

2) 构建规范化矩阵  $V = (v_{ij})_{m \times n}$ , 如下:

$$v_{ij} = W_j r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (20)$$

其中,  $r_{ij}$  为矩阵  $R$  中对应的位置元素值。

3) 确定正理想解  $A^+$  和负理想解  $A^-$ 。

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) = \{ (\max_i v_{ij} | j \in C_B), (\min_i v_{ij} | j \in C_c) \} \quad (21)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) = \{ (\min_i v_{ij} | j \in C_B), (\max_i v_{ij} | j \in C_c) \} \quad (22)$$

其中,  $C_B$  是正指标类参数,  $C_c$  是负指标类参数。

4) 测量候选方案到正理想解和负理想解的距离。

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^+)^2}, S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_i^-)^2} \quad (23)$$

其中,  $S_i^+$  为候选方案距正理想解  $A^+$  的距离,  $S_i^-$  为候选方案距负理想解  $A^-$  的距离,

候选方案与理想方案的贴近度可描述为:

$$C_i^+ = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}, 0 \leq C_i^+ \leq 1 \quad (24)$$

5) 对各个候选网络的贴近度  $C_i^+$  值进行排序, 选择贴近度最大的候选网络为最优接入网络。

通过以上 5 个步骤的计算, 可以比较准确地计算出备选网络的贴近度, 本文依据贴近度值的大小进行接入网络的选择。贴近度的值越大, 说明该网络的性能指标最优, 因此, 可以从已经排好序的贴近度中, 找到其最大值对应的无线接入网络。

## 3 仿真结果与分析

为验证本文算法的有效性, 模拟同时覆盖 4 种无线网络的异构无线网络环境进行仿真实验验证, 即 WLAN、WiMAX、UMTS、GSM, 异构无线网络仿真环境示意图如图 1 所示。

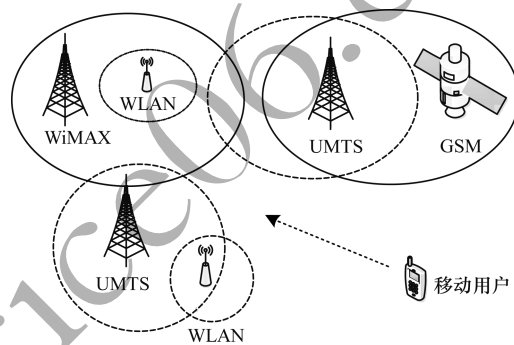


图 1 异构无线网络仿真环境示意图

### 3.1 网络属性参数的选取

异构无线网络的业务一般可分为实时性和非实时性 2 种情况。在实际的异构无线网络环境中, 用户可能处于语音或者视频通话中, 也可能处于移动的状态, 所以在实时性方面的要求比较高。在仿真环境中, 每个网络属性的仿真参数给出了具体设定, 如表 2 所示。

表 2 网络属性参数

网络参数	UMTS	GSM	WiMAX	WLAN
时延/ms	20	30	35	45
抖动/ms	6	7	9	12
丢包率	0.06	0.05	0.03	0.02
安全等级	6	6	5	7
历史偏好	1	1	1	1
网络负载	0.4	0.7	0.5	0.6
网络资费	0.8	0.3	0.5	0.1
业务宽带/kHz	2	6	15	10
用户质量	0.7	0.6	0.8	0.9
信号强度	0.85	0.8	0.85	0.9

### 3.2 结果对比分析

接入选择算法的有效性可以体现在网络平均切换率、阻塞率以及网络平均负载率等指标。本文通过这 3 个网络指标进行仿真验证。

从图 2 可以看出,随着实时多业务到达率的不断增加,基于 AHP 与粗糙集理论结合的算法<sup>[15]</sup>、基于 FAHP 与熵权法结合的算法<sup>[16]</sup>以及本文所提出的算法在平均切换率方面都存在着一一定的波动性。但是,前两者算法相对本文提出的算法切换率更高,本文根据网络情况动态调整主客观权重参数,选择一个网络性能指标最佳的接入网络,使其网络的切换次数能够明显减少,保持网络处于较好的稳定性。

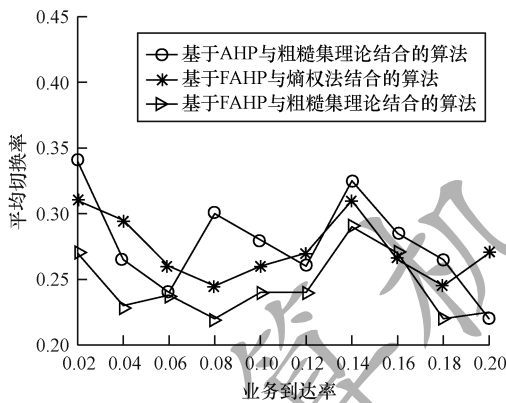


图 2 3 个算法平均切换率的变化

从图 3 可以看出,当实时多业务到达率增加时,3 个算法的阻塞率都有明显增大的趋势。当业务到达率达到 0.14 之后,本文算法的阻塞率明显较低,比其他方法减少 5% 以上,具有明显的优势。

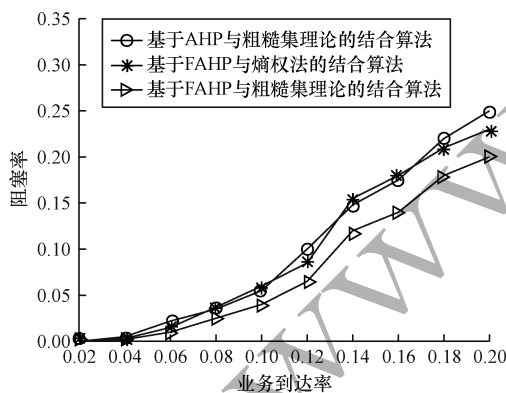


图 3 3 个算法阻塞率的变化

从图 4 的结果可知,当实时业务到达率不断增大时,这 3 个算法的平均负载率都在不断增大。对于业务到达率为 0.1 之前变化情况,三者之间的平均负载率没有明显差别,而对业务到达率为 0.16 之后的变化情况,虽然平均负载率仍逐渐增加且趋于平稳,但是本文算法的平均负载率明显低于其他 2 种算法。

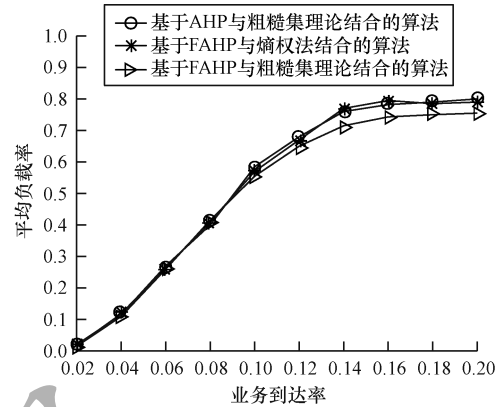


图 4 3 个算法平均负载率的变化

由以上实验结果和分析可以得出,当同时进行多种类型的业务交互时,本文所提出的算法在切换率、阻塞率以及网络负载等方面都具有较好的效果,在一定程度上提升了用户的服务质量。

### 4 结束语

本文针对现有接入算法准确度较低的问题,提出一种基于改进主客观权重判决的异构无线网络接入选择算法。在原有层次分析法的基础上,结合模糊理论的特点,给出一种模糊层次分析法,通过模糊理论和粗糙集理论较强的互补性,综合运用不同算法的优势,并根据业务需求对主客观权重进行动态调整,较好地处理了异构无线网络的接入选择问题。实验结果表明,本文算法有效地提高了接入效率和准确度,并能够选择最佳的接入网络,提高用户的服务质量。下一步将考虑通信实体之间的相互影响,提高网络接入选择的可靠性。

### 参考文献

- [1] WANG Xiaofei, LI Xiuhua, LEUNG V C M. Artificial intelligence-based techniques for emerging heterogeneous network; state of the arts, opportunities, and challenges [J]. IEEE Access, 2015, 3: 1379-1391.
- [2] WANG Lusheng, KUO Gengsheng. Mathematical modeling for network selection in heterogeneous wireless networks—a tutorial [J]. IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2013, 15(1): 271-292.
- [3] KOVÁCS I Z, LASELVA D, MICHAELSEN P H, et al. Performance of SON for RSRP-based LTE/WLAN access network selection [C] // Proceedings of International Symposium on Wireless Communications Systems. Barcelona, Spain: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014: 125-136.
- [4] DU Bai, LI Hongyan. Network selection algorithm in heterogeneous wireless networks based on residual service time [J]. Journal of Xidian University, 2016, 43(1): 7-11.
- [5] TRESTIAN R, ORMOND O, MUNTEAN G M. Performance evaluation of MADM-based methods for network selection in a multimedia wireless environment [J]. Wireless Networks, 2015, 21(5): 1745-1763.

(上接第 111 页)

- [6] 俞鹤伟,梁根.异构无线网络接入选择算法综述[J].哈尔滨工业大学学报,2017,49(11):178-188.
- [7] 张媛媛,肖创柏,王坚.一种新的面向用户多业务 QoS 需求的网络接入选择算法[J].计算机科学,2015,42(3):55-59.
- [8] 盛洁,马冬.异构无线网络业务接入多目标优化控制算法[J].电子学报,2016,44(2):282-288.
- [9] 毕晓君,张倩.基于分解的多目标进化算法的异构无线网络业务接入控制[J].电子与信息学报,2018,40(4):778-784.
- [10] 陈前斌,周伟光,柴蓉,等.基于博弈论的异构融合网络接入选择方法研究[J].计算机学报,2010,33(9):1643-1652.
- [11] 骆冉,赵夙,朱琦.基于演化博弈的多接入网络选择算法[J].南京邮电大学学报(自然科学版),2017,37(4):19-24.
- [12] ANEDDA M, MUNTEAN G M, MURRONI M. Adaptive real-time multi-user access network selection algorithm for load-balancing over heterogeneous wireless networks [C]//Proceedings of IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. Nara, Japan: IEEE Computer Society, 2016:325-337.
- [13] 高秀娥,李克秋.基于改进多属性判决的异构网络接入选择算法[J].计算机科学,2017,44(6):97-101.
- [14] 张钰,刘胜美.基于多属性判决的网络选择算法[J].计算机科学,2015,42(6):120-124.
- [15] 盛洁,祁兵,杨箐,等.基于粗糙集理论和层次分析法的异构无线网络接入选择算法[J].计算机应用与软件,2013,30(2):133-136.
- [16] 麻少娟,张继荣.基于层次分析法和熵理论的网络选择算法[J].陕西科技大学学报,2014,32(3):162-167.

编辑 索书志