

文章编号: 2095-4980(2015)06-0882-05

## 基于 D-S 证据理论的异构无线网络接入选择算法

杨 箐

(中国工程物理研究院 电子工程研究所, 四川 绵阳 621999)

**摘 要:** 对异构无线网络中无线资源管理和接入选择进行研究, 提出一种基于 D-S 证据理论的异构无线网络接入选择算法。针对接入判决所需参数具有时变性和不确定性的特点, 结合能够有效反映候选网络负载状况的效用函数, 建立基于 D-S 证据理论的接入效用评估模型, 得到各候选网络的综合接入效用值。仿真结果表明, 该算法具有复杂度低(一般性)的特点, 在保证不同业务服务质量(QoS)需求的前提下能够动态调整各候选网络的负载情况, 从而有效降低整个系统的呼叫阻塞率。

**关键词:** 异构无线网络; 无线资源管理; 接入选择; D-S 证据理论

**中图分类号:** TN926

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201506.0882

## An access selection algorithm based on D-S evidence theory for heterogeneous wireless networks

YANG Zheng

(Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621999, China)

**Abstract:** A new access selection algorithm based on D-S evidence theory is proposed in order to tackle the problem of existing access selection algorithms that fails to consider the network load sufficiently in heterogeneous wireless networks. Firstly, proper utility functions are determined based on the users' mobility as well as the network performance and fused by using D-S evidence theory to reduce the adverse impact of parameters' uncertainty and time-varying on access selection. The candidate network with the highest trustworthiness is eventually selected as the optimal access network. Simulation results show that the proposed algorithm can guarantee the Quality of Service(QoS) of different services and effectively decrease the overall call blocking probability by dynamically adapting to the network load conditions while taking into account the subscriber characteristics.

**Key words:** heterogeneous wireless networks; radio resources management; access selection; D-S evidence theory

下一代无线网络是由通用移动通信系统(Universal Mobile Telecommunications System, UMTS)、无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)、全球微波互连接入(Worldwide Interoperability for Microwave Access, WiMax)等多种无线接入技术(Radio Access Technology, RAT)共同组成的异构融合无线网络<sup>[1]</sup>。由于无线资源非常紧缺昂贵, 且不同 RAT 在覆盖范围、容量、安全性、服务资费等方面都各具特点, 因此需要接入选择对异构无线通信系统进行宏观资源管理<sup>[2]</sup>, 使用户可以动态地选择一个最佳接入网络。

目前, 国内外研究学者针对异构无线网络的特点已提出多种接入选择方案。基于业务类型的接入选择算法<sup>[3]</sup>利用模糊层次分析法综合考虑数据速率、时延等多种因素, 但将判断矩阵的元素标度值设为固定值, 未考虑网络参数的时变性。基于模糊逻辑的接入选择算法<sup>[4]</sup>根据不同用户的速率、方向和优先级等特点进行接入选择, 但没有从系统角度充分考虑网络负载均衡的问题, 易导致资源浪费。部分学者<sup>[5-7]</sup>将神经网络应用到接入选择策略中, 取得了一定的进展。但接入决策所需的网络 and 用户的实时参数难以保存到训练数据库中, 因此建立神经网络所需的完整训练数据较难获得。同时, 神经网络往往具有结构难确定, 参数初始值选择的盲目性, 训练速度慢, 容易陷入局部最小等缺点, 因此算法复杂度将随着呼叫请求数目和候选网络数目的增加而剧烈增长。

由于 D-S 证据理论<sup>[8]</sup>能很好地把握问题的未知性和不确定性, 通过合并多重证据得到在同一识别框架下的联合信任度, 从而处理由于知识模糊引起的不确定性问题, 适用于需要处理不确定信息的异构无线网络接入选择算法。

根据上述分析, 提出一种改进接入选择算法, 利用 D-S 证据理论处理异构无线网络环境下接入判决因素的不确定性和模糊性, 使接入判决能够动态地适应网络负载的变化, 从而降低整个异构无线网络的系统平均阻塞率。

### 1 算法描述

设异构无线网络模型如图 1 所示, 到达重叠区域的用户发出接入请求后, 触发接入选择机制。

#### 1.1 D-S 证据理论简介

D-S 证据理论建立于非空有限域,  $N$  个互斥且穷举的基本命题所构成的有限集  $\theta$ , 称为识别框架 (Frame of Discernment, FoD)。  $\theta$  的幂集  $P(\theta)$  是由  $2N$  个基于  $\theta$  的所有子集集合, 即  $P(\theta) = \{\Phi, \{A_1\}, \{A_2\}, \dots, \{A_1, A_2\}, \{A_1, A_3\}, \dots, \theta\}$ , 其中  $\Phi$  表示空集。

若函数  $m: P(\theta) \rightarrow [0, 1]$ , 且满足:

$$m(\Phi) = 0, m(A) \geq 0, \sum_{A \subseteq P(\theta)} m(A) = 1 \quad (1)$$

则称  $m$  为  $A$  在  $P(\theta)$  上的基本概率分配函数 (Basic Probability Assignment Function, BPAF), 表示在证据识别框架中对命题  $A$  的信任程度。

D-S 证据组合规则是证据理论的核心, 它将来自不同信息源的独立证据信息组合在一起产生更可靠的证据信息。设  $m_1$  与  $m_2$  为  $\theta$  上 2 个互相独立的证据,  $P(\theta)$  为  $\theta$  的幂集,  $A, B$  为  $P(\theta)$  中的元素, 则  $A, B$  组合后的组合证据为:

$$m_{12}(C) = (1 - K)^{-1} \sum_{A \cap B = C} m_1(A) m_2(B) \quad (2)$$

式中  $K = \sum_{A \cap B = \Phi} m_1(A) m_2(B)$  为冲突系数, 表示 2 个不同的 BPAF 之间的冲突度。

#### 1.2 基本概率分配函数

异构无线网络中的接入选择是一个多因素决策的判决过程, 需要选择合理的判决参数, 从而有效体现各参数对算法性能的影响并实现合理的性能折中。网络可接入性的判断标准主要为: 接收信号强度是否达到门限值; 网络剩余资源是否可以满足业务的 QoS 需求。若满足以上 2 个条件则认为用户可以接入该网络<sup>[5]</sup>。

本文选择接收信号强度 (Received Signal Strength, RSS) 和网络可用带宽率作为接入效用评估模块中的判决参数, 前者能够确保通话质量, 后者则是网络当前负载情况的直接反映。两者不仅能够较全面地考虑接入判决因素, 并且能够满足 D-S 证据理论中证据之间相互独立的要求。

定义一个识别框架  $\theta = \{A, R\}$ ,  $A$  表示接受,  $R$  表示拒绝。设 RSS 的 BPAF 为一个向量  $X = (m(\{A\}), m(\{R\}), m(\{A, R\}))$ , 分别表示接受、拒绝和模糊的概率, 其值分别用  $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$  表示, 且满足  $0 \leq \alpha_1, \beta_1, \gamma_1 \leq 1$  和  $\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1 = 1$ 。同理, 设每个网络可用带宽的 BPAF 为向量  $Y = (m(\{A\}), m(\{R\}), m(\{A, R\}))$ , 其值分别为  $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ , 满足  $0 \leq \alpha_2, \beta_2, \gamma_2 \leq 1$  和  $\alpha_2 + \beta_2 + \gamma_2 = 1$ 。由此将接入选择问题转化为一个不确定推理问题, 把每一个判决参数作为一个证据, 利用 D-S 证据理论进行融合以得到各无线接入网络 (Radio Access Network, RAN) 的综合接入效用值, 该接入效用值反映了各个网络对不同用户的业务支持能力。

##### 1.2.1 接收信号强度的基本概率分配

假设用户处于  $K$  个 RAN 的重叠覆盖区域内,  $R_k$  为来自第  $k(k=1, 2, \dots, K)$  个网络的 RSS, 并将其划分为 3 个模糊子集:  $T(R) = T\{\text{Weak}, \text{Medium}, \text{Strong}\}$ 。

为了更贴切地反映用户特性以及网络实际情况, 选择高斯函数<sup>[5]</sup>作为各模糊子集的隶属度函数。对隶属度函数值进行归一化处理, 得到判决参数 RSS 的 BPAF 值, 如式(3)所示。

$$\bar{\mu}_k(i) = \frac{\mu_k(i)}{\sum_{j=1}^3 \mu_k(j)} = \exp\left[-\frac{(R_k - c_{1i})^2}{\sigma_{1i}^2}\right] / \sum_{j=1}^3 \exp\left[-\frac{(R_k - c_{1j})^2}{\sigma_{1j}^2}\right] \quad (3)$$

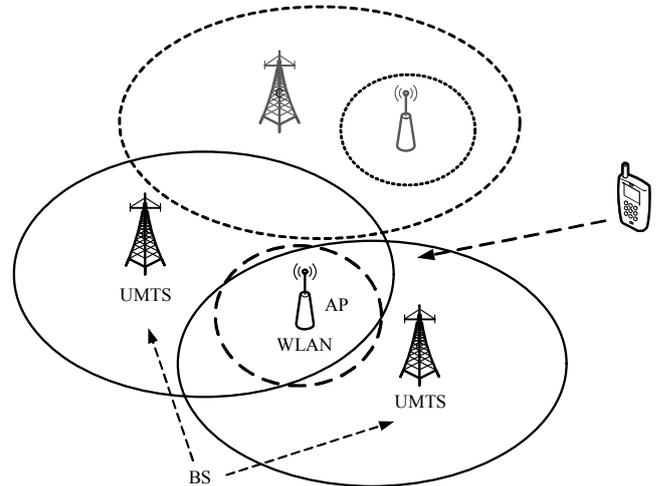


Fig.1 Model of heterogeneous wireless networks  
图 1 异构无线网络模型

式中  $i, j$  表示  $R_k$  的第  $i, j$  个模糊子集 ( $i, j=1, 2, 3$ )。  $c_{1i}, c_{1j}$  和  $\sigma_{1i}, \sigma_{1j}$  为相应的均值和方差, 通过调节这 2 个参数可以改变隶属度函数的形状, 从而影响模糊逻辑模块做出更优的局部接入判决结果。由前文描述可知,  $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$  为分别将  $i=3, 1, 2$  代入式(3)的值。

### 1.2.2 可用带宽率的基本概率分配

假设第  $k$  个网络的总带宽为  $B_k$ , 剩余可用带宽为  $b_k$ , 并将其划分为 3 个模糊子集:  $T(b)=T\{\text{Weak, Medium, Strong}\}$ 。本文设带宽效用函数为:

$$U_k = \begin{cases} \exp\left[\frac{(b_k - b_{\text{avg}})^2}{b_{\text{max}}(1 + \sqrt{b_{\text{max}}})}\right], & \text{if } b_k \geq b_{\text{req}} \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $b_{\text{req}}$  为用户的带宽要求;  $b_{\text{avg}}$  为重叠区内所有网络的平均带宽;  $b_{\text{max}}$  为重叠区内最大剩余带宽。若  $b_k < b_{\text{req}}$ , 函数值为零, 由 D-S 证据理论的组合规则可知, 该网络的综合接入效用值也为零, 因此不能被选为目标网络。若  $b_k \geq b_{\text{req}}$ , 并且大于重叠区内所有网络的平均带宽, 此时函数值将呈指数形式增长。由此可见, 带宽效用函数可以有效衡量用户对所分配带宽的满意程度, 函数值越大表示用户对于分配的带宽越满意。选择高斯函数<sup>[5]</sup>作为其各模糊子集的隶属度函数, 并对其进行归一化处理, 如式(5)所示, 将此作为可用带宽这一判决参数的 BPAF 值。

$$\bar{\rho}_k(i) = \frac{\rho_k(i)}{\sum_{j=1}^3 \rho_k(j)} = \exp\left[-\frac{(U_k - c_{2i})^2}{\sigma_{2i}^2}\right] / \sum_{j=1}^3 \exp\left[-\frac{(U_k - c_{2j})^2}{\sigma_{2j}^2}\right] \quad (5)$$

式中:  $i, j$  表示  $R_k$  的第  $i, j$  个模糊子集 ( $i, j=1, 2, 3$ ),  $c_{2i}, c_{2j}$  和  $\sigma_{2i}, \sigma_{2j}$  为相应的均值和方差, 由此也可以得出  $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$  的值。

### 1.3 综合接入效用

根据 D-S 组合规则对上述 2 个 BPAF 进行融合, 即将向量  $(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)$  与  $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2)$  按 D-S 组合规则进行融合, 得到表示  $\text{RAN}_k$  综合接入效用的 BPAF:  $m_k(A), m_k(R), m_k(A, R)$ , 分别表示在综合考虑接收信号强度以及可用带宽这 2 个因素后对该呼叫进行接受、拒绝以及未知的支持信度。将这 3 个值中的最大者作为该网络的综合接入效用值  $\eta_k = \max(m_k(A), m_k(R), m_k(A, R))$ , 并规定:

1) 若有  $n(n \geq 1)$  个网络的综合效用值  $\eta_i$  为  $m_i(A) (i=1, 2, \dots, K)$ , 则选取综合效用值最大的候选网络并判断其综合效用值是否大于阈值  $\tau$ , 若是, 那么选择该网络作为目标网络。

2) 若没有综合效用值为  $m_i(A)$  的网络, 存在综合效用值为  $m_i(A, R)$  的网络, 则选择其中阻塞率最低的网络作为目标网络。

3) 若所有候选网络的综合效用值均为对应的  $m_i(R)$ , 则拒绝该呼叫请求。

D-S 证据理论具有较强理论基础, 但实际应用中往往要求证据之间相互独立。在本文接入效用评估模型中, 接收信号强度和网络可用带宽率这 2 个接入判决因素满足证据之间相互独立的要求; 识别框架中只有 2 个互斥元素。另外,  $n$  个证据组合信度的计算需  $n-1$  个步骤, 而任意 2 个证据的组合计算可在常数时间内完成, 因此计算时间复杂度为  $O(n)$  ( $n$  为接入效用评估模块中输入参数的个数)。

## 2 系统仿真及结果分析

本文采用图 1 所示的异构无线接入网络模型, 设重叠覆盖区内随机产生初始连接数以及呼叫接入请求, 其中实时业务占 70%, 其余为非实时业务。UMTS 发射功率为 20 W, 传播损耗模型<sup>[7]</sup>为  $L_U = 128.1 + 37.6 \lg(d/1000)$ ; WLAN 发射功率为 100 mW, 传播损耗模型为  $L_W = 20 + 40 \lg(d)$ 。由于不同 RAN 具有不同的发射功率和覆盖范围等, 各网络的接收功率门限值也可能不同, 应根据各个 RAN 的特点设定适宜的隶属度参数值。根据所建仿真模型特点以及大量实验的结果, 设输入变量中 RSS 的隶属度参数为  $c_{11} = -80, c_{12} = -70, c_{13} = -60$ ;  $\sigma_{11} = 5, \sigma_{12} = 4, \sigma_{13} = 5$ 。可用带宽的隶属度参数  $c_{21} = 0, c_{22} = 0.5, c_{23} = 1$ ;  $\sigma_{21} = 0.4, \sigma_{22} = 0.3, \sigma_{23} = 0.4$ 。输出变量的隶属度函数均值为  $\{-1, 0.5, 0, 0.5, 1\}$ , 方差为  $\{0.18, 0.2, 0.2, 0.2, 0.18\}$ 。

在上述异构网络环境下仿真得到本文算法与基于模糊逻辑的接入选择算法(Fuzzy Admission Control System, FACS)<sup>[4]</sup>、最大负载均衡(Maximum Load Balance, MLB)多接入算法<sup>[9]</sup>、基于径向基函数模糊神经网络的接入选择算法(Radial Basis-Function Fuzzy Neural Network, RBF-FNN)<sup>[5]</sup>的性能对比, 仿真参数如表 1 所示。

图 2 和图 3 分别为采用 FACS 算法和 MLB 算法时各网络阻塞率的变化情况与本文算法的对比。可以看出,若采用 FACS 算法,2 个 UMTS 网络(C1,C2)的平均阻塞率将随着用户数的增多而迅速增加,直至重载,阻塞率变为 1;而 WLAN 网络(W)的阻塞率一直处于较低状态,直至 2 个 UMTS 网络的阻塞率接近 1 时才有了较明显的增加。这是因为 FACS 算法虽然利用模糊逻辑模块综合处理了用户速率、业务优先级等多个影响接入判决的因素,但仅通过已建立连接数不能很好地反映网络负载情况,造成各候选网络的阻塞率差距较大,不利于负载均衡。而 MLB 算法侧重于从带宽角度出发考察系统负载均衡情况,选择出每个用户所需消耗资源与网络可用资源比值最小的网络进行接入,但没有考虑到不同 RAN 在已占用资源率相同情况下可支持的业务容量不同,因此候选网络之间的阻塞率也存在一定差距。

表 1 仿真参数  
Table1 Simulation parameters

network types	WLAN	UMTS
coverage radius/m	200	1 000
the maximum effective bandwidth C/Mbps	5.5	2
RT business bandwidth requirements/kbps	30	
NRT business bandwidth requirements/kbps	64	
the call arrival rate $\lambda$ /(calls·s <sup>-1</sup> )	1	
the average service time (1/ $\mu$ )/s	100	

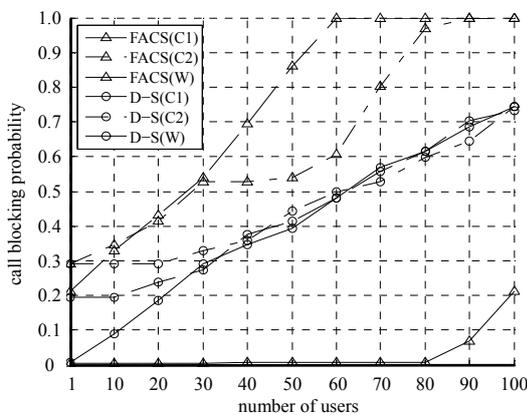


Fig.2 Average call blocking probability of FACS and D-S algorithm  
图 2 FACS 算法中各网络阻塞率与本文算法对比

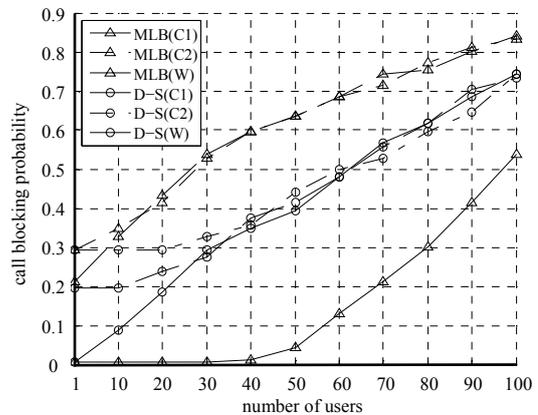


Fig.3 Average call blocking probability of MLB and D-S algorithm  
图 3 MLB 算法中各网络阻塞率与本文算法对比

由图 4 可以看出, RBF-FNN 算法和 D-S 改进算法的性能较为接近。RBF-FNN 算法将可接入网络的阻塞率相等作为神经网络参数强化学习的目标,通过不断对网络状况进行反馈学习从而降低网络阻塞率差距。值得注意的是,当用户数达到 40 时,两种均能使各候选网络的阻塞率差距很小或接近相等;当用户数小于 40 时, RBF-FNN 算法中 3 个候选网络之间的阻塞率差距大于 D-S 算法中各网络的阻塞率差距。这是由于 RBF-FNN 算法中的模糊神经网络在初始状态时,神经网络参数的训练还不够完善,造成网络之间的阻塞率差距较大。该算法中复杂的神经网络结构以及参数训练过程也会导致较高的计算复杂度(计算时间复杂度为  $O(n^2)$ ,  $n$  为神经网络输入层的参数个数)。另外,若异构无线网络环境发生变化,需构建新的神经网络结构并重新训练参数,因此一般性较差。本文改进算法利用 D-S 证据理论有效处理用户信息和网络信息的不确定性和时变性,在接入决策中将网络阻塞率作为一个重要决策因素,动态调整各网络阻塞率以最小化候选网络之间的阻塞率差距。由上述分析可知,改进算法在具有较低计算复杂度(计算时间复杂度为  $O(n)$ )和一般适用性等优势的同时,能够降低候选网络之间的阻塞率差距,从而有效降低整个异构无线网络的系统平均阻塞率。

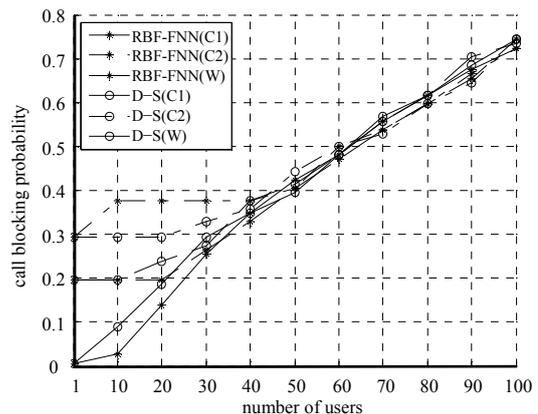


Fig.4 Average call blocking probability of RBF-FNN and D-S algorithm  
图 4 RBF-FNN 算法中各网络阻塞率与本文算法对比

### 3 结论

本文提出的基于 D-S 证据理论的异构无线接入选择算法能够在保证不同业务 QoS 需求的前提下,根据网络当前负载为各呼叫请求选择最合适的接入网络,有效降低各候选网络之间的阻塞差距以及整个异构无线网络的系

统平均阻塞率,且克服了已有算法中计算复杂度高、一般适用性低等缺点。

本文仿真中考虑了2种接入网络类型的异构融合网络架构,而在实际部署的异构无线网络中,重叠网络架构的拓扑可能更加复杂。比如,蜂窝网络中可能存在多个WLAN,这些WLAN互相重叠在一起,以提供一个更大的连续热点覆盖区域。因此,在未来工作中可关注更贴切实际应用的异构无线网络模型。同时,考虑到用户业务类型的多样性,在未来工作中可针对不同业务的QoS需求及特点设计出区分业务类型和业务优先级的接入选择策略,从而更加适用于业务多样化的未来异构无线网络。

#### 参考文献:

- [1] Coutinho R W L,Coelho V L,Costa J C W A,et al. Optimal policy for Joint Call Admission Control in next generation wireless networks[C]// 2010 International Conference on Network and Service Management. Niagara Falls,ON: IEEE,2010: 214-217.
- [2] Ismail M,ZHUANG W. A distributed multi-service resource allocation algorithm in heterogeneous wireless access medium [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2012,30(2):425-432.
- [3] Falowo O E,CHAN H A. Joint call admission control algorithms:Requirements,approaches,and design considerations[J]. Computer Communications, 2008,31(6):1200-1217.
- [4] Barolli L,Mino G,Ikebata T,et al. Performance evaluation and comparison of fuzzy-based intelligent CAC systems for wireless cellular networks[C]// 2010 2nd International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems. Thessaloniki,Greece:IEEE, 2010:177-184.
- [5] 石文孝,范绍帅,王楠,等. 基于模糊神经网络的异构无线网络接入选择算法[J]. 通信学报, 2010,31(9):151-156. (SHI Wenxiao,FAN Shaoshuai,WANG Nan,et al. Fuzzy neural network based access selection algorithm in heterogeneous wireless networks[J]. Journal on Communications, 2010,31(9):151-156.)
- [6] 夏玮玮,沈连丰. 一种基于模糊神经网络的异构网络选择算法[J]. 东南大学学报, 2010,40(4):663-669. (XIA Wei wei,SHEN Lianfeng. A network selection algorithm based on fuzzy neural network for heterogeneous networks[J]. Journal of Southeast University, 2010,40(4):663-669.)
- [7] YAN Jilei,ZHAO Linjing,LI Jiangdong,et al. A network selection strategy in resources mobility environment[C]// 2010 5th International ICST Conference on Communications and Networking in China. Beijing,China:IEEE, 2010:1-5.
- [8] Shafer G. A Mathematical Theory of Evidence[M]. New York:Princeton University Press, 1976:325-339.
- [9] 孙卓,刘铁军,张倩倩,等. 异构无线分组网络中的接入选择机制[J]. 系统仿真学报, 2008,20(10):2762-2769. (SUN Zhuo,LIU Tiejun,ZHANG Qianqian,et al. Radio access selection algorithm in heterogeneous wireless packet networks[J]. Journal of System Simulation, 2008,20(10):2762-2769.)

#### 作者简介:



杨 箐(1988-),女,四川省绵阳市人,硕士,工程师,主要研究方向为无线电通信.email:toto58@163.com.