

# 一种异构无线网络的多属性垂直切换方案

纪晓龙, 张 静

(上海师范大学 信息与机电工程学院, 上海 200234)

**摘 要:** 为满足在异构无线网络中的用户对不同业务的需求, 减少无线网络垂直切换所造成的乒乓效应, 给出了一种异构无线网络的多属性垂直切换方案. 该算法采用模糊逻辑对网络进行预判决, 给出切换的代价函数以选择最佳网络, 代价函数中采用了层次分析法来确定不同业务情况下信噪比、时延以及价格和用户偏好等参数的权重. 针对 WiMAX 和 UMTS 网络重叠覆盖的环境所进行的仿真表明, 该算法能够在满足用户需求的条件下有效地减少切换次数和功率消耗.

**关键词:** 异构网络; 信噪比; 垂直切换; 模糊逻辑; 层次分析

**中图分类号:** TN 929.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-5137(2014)02-0153-06

## 0 引 言

新一代移动通信网络融合了多种不同的接入网络. 这些网络在覆盖范围、带宽、传输速率以及费用等方面有着互补的特点, 例如, 通用移动通信系统(UMTS)能够提供宽广的覆盖范围, 但传输速率低, 接入费用相对昂贵; 而全球微波互联接入(WiMAX)具有高的传输速率和低的接入费用, 但覆盖范围较小. 当移动终端在不同无线网络间漫游时, 要求能够实现最佳网络的判断并进行无缝隙的切换, 移动终端切换的标准主要考虑网络条件、业务类型、通信代价和用户偏好等多方面的因素.

在异构网络间的垂直切换主要包括发起、判决和执行, 目前已提出了较多算法. 文献[1]提出了相对接收信号强度(RSS)的概念, 通过比较不同网络的RSS来判决用户是否切换, 大多应用于水平切换. 垂直切换往往需要综合考虑多个因素来判决是否切换, 是多属性判决问题. 文献[2]在UMTS和无线局域网的异构网络环境下, 采用描述网络性能和服务质量的代价函数选择首选网络, 利用基于信号强度累积量和距离准则的联合优化策略进行判决. 文献[3]提出了一种基于SINR和层次分析法的简单加权垂直切换算法, 综合考虑了多属性服务质量, 根据不同业务特点确定各属性间的关系. 文献[4]仅依靠模糊逻辑的方法考虑RSS、可用带宽(BA)和网络开销得到切换判决值, 有时不能对网络作出合理的选择. 文献[5]提出了针对车载终端的代价函数值和可变的自适应垂直切换算法, 提高了候选网络集的更新速度, 减少了切换次数, 保证切换的有效性和公平性, 然而依靠代价函数的方法往往实时性较差, 难以适应不断变化的网络状态.

本文作者给出了一种基于异构网络融合的多属性垂直切换算法. 考虑到无线网络中的RSS和可用带宽(BA)具有动态变化的特点, 采用了模糊逻辑对RSS和BA作预判决, 继而, 该算法采用了综合信噪比(SNR)、时延(ND)、价格(C)和用户偏好(UP)的代价函数以选择最优网络, 这4个参数的权重由层次分析法获得. 同时, 该算法还考虑约束条件来避免发生乒乓效应. 仿真结果表明, 该算法能够有效地消除乒乓效应, 减少功率消耗, 提高切换效率.

收稿日期: 2014-03-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(61101209); 上海市自然科学基金项目(11ZR1426600); 上海师范大学重点学科资助项目(DZL126)

作者简介: 纪晓龙, 男, 硕士研究生; 张 静, 女, 副教授.

通信作者: 张 静, E-mail: jannety@shnu.edu.cn

# 1 垂直切换算法

## 1.1 系统模型

考虑 UMTS 与 WiMAX 重叠覆盖的网络环境,如图 1 所示. 在 UMTS 蜂窝覆盖小区的边缘还分布有 WiMAX 网络. 假设某一具有双模功能的移动终端(MS)通常处于 UMTS 网络的覆盖范围之内,即它可以接收到 UMTS 网络提供的信号完成通信服务. 而当该终端位于小区边缘处于两种无线网络的重叠覆盖区域时,它可以根据自身的业务需求类型来选择是否执行网络间的切换. 通常,由于不同的无线网络采用不同的频率,信道传播模型也不相同<sup>[6]</sup>,如 UMTS 网络的频率为 2 GHz,采用 Cost231-Hata 模型; WiMAX 的频率为 3.5 GHz,采用的是 SUI 模型,移动终端在执行切换前所检测出的网络接收信号强度以及信噪比将有较大差异.

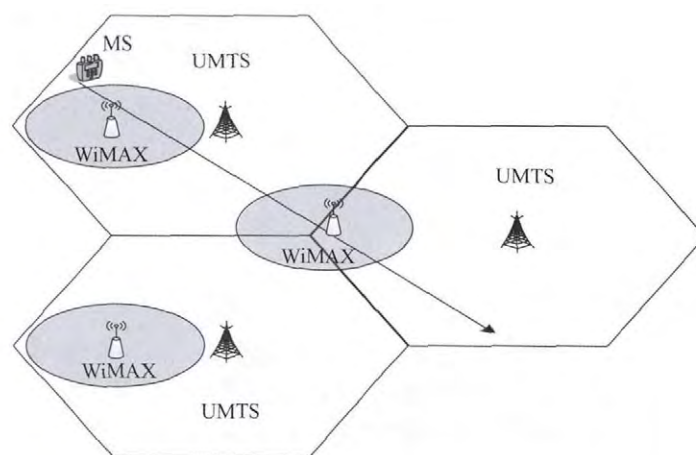


图 1 UMTS/WiMAX 异构网络

## 1.2 模糊逻辑处理

移动终端在决定何时需要越区切换时,通常需要根据其所接收到的 RSS 来确定. 同时,对于它的不同的业务需求,需要系统分配不同的 BA,也是它决定自身是否需要切换的依据. 由于 RSS 和 BA 会随着移动终端位置和用户数量的变化而变化,都是动态变化的参数. 可采用模糊逻辑将其模糊处理,将参数分成若干个语言变量区间,进而降低切换次数和切换的复杂性.

首先,将 RSS 和 BA 作为输入变量进行模糊逻辑处理,它包括 3 部分:模糊化、模糊推理、解模糊化. 在模糊化过程中,将 RSS 和 BA 根据隶属度函数转化成论域  $[0,1]$  上的值,其中的隶属度函数如图 2 所示,对 RSS 模糊化后对应 5 个语言变量,分别是非常低(VL)、低(L)、中(M)、高(H)、非常高(VH),BA 对应低、中、高 3 个语言变量,记为 2 个模糊集:  $U(RSS) = U(VL, L, M, H, VH)$  和  $U(BA) = U(L, M, H)$ . 每一个输入参数都会对应 2 个语言变量并且有相应的隶属度  $\mu$ . 同时,建立所输出的切换值(HV)的语言变量并构成输出模糊集:  $U(HV) = U(VNS, NS, A, S, VS)$ ,其中,模糊集中的 5 个元素分别表示非常不满意、不满意、可以接受、满意以及非常满意.

然后,利用模糊规则进行模糊推理,模糊规则通常根据专家经验建立,如表 1. 基于该表 IF-THEN 结构的模糊规则,运用最大-最小推理方法<sup>[7]</sup>找到指向输出的同一语言变量的隶属度最大值. 其过程是:首先找出规则表中具有相同输出的规则,如表 1 规则 2~6,计算这些规则下 RSS 和 BA 的隶属度,取每一条规则中最小的隶属度值:

$$\mu_i = \min(\mu_{RSS}^k, \mu_{BA}^j), \quad k \in U(RSS), \quad j \in U(BA). \quad (1)$$

式(1)中: $i$ 是具有相同输出语言变量的第 $i$ 条规则. 最后选择 $\mu_i$ 中最大的隶属度值作为该组相同输出语言变量的推理值.

$$\mu_g = \max(\mu_i), \quad g \in U(HV). \quad (2)$$

在解模糊化过程中,采用重心法将模糊推理的输出转化为精确值,表达式如下:

$$FDV = \frac{\sum_{g \in U(HV)} \mu_g \mu_{HV}^g}{\sum_{g \in U(HV)} \mu_g}. \quad (3)$$

式(3)中:  $FDV$  是经过解模糊化的清晰值,范围为  $[0, 1]$ ,  $\mu_{HV}^g$  是  $HV$  的隶属度值,  $g \in U(HV)$ .

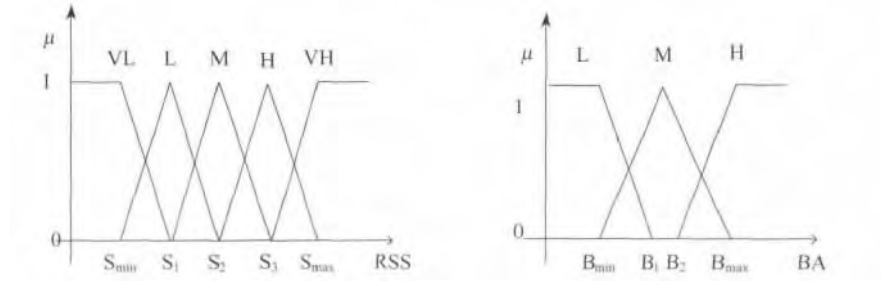


图 2 隶属度函数

表 1 模糊推理规则

Rule	RSS	BA	HV	Rule	RSS	BA	HV
1	VL	L	VNS	9	M	H	A
2	VL	M	NS	10	H	L	A
3	VL	H	NS	11	H	M	S
4	L	L	NS	12	H	H	S
5	L	M	NS	13	VH	L	S
6	L	H	NS	14	VH	M	S
7	M	L	A	15	VH	H	VS
8	M	M	A				

### 1.3 切换判决

#### 1.3.1 代价函数

上述模糊逻辑只考虑了  $RSS$  和  $BA$  2 个网络条件,然而,在进行垂直切换决策时,为使用户得到更好的服务,还要充分考虑信噪比、时延、费用和用户的偏好,即垂直切换是一个多属性决策的问题.因此,可以通过构建代价函数来评估最佳的切换网络,假设要接入的网络为  $n$ ,则最优网络:

$$n_{opt} = \arg \min_n (F_s^n). \quad (4)$$

式(4)中:  $F_s^n$  是网络  $n$  在服务  $s$  下的代价函数值.  $F_s^n$  通过下式得到:

$$F_s^n = E_n \left( w_s \ln p_{SNR} + w_n \ln \frac{1}{p_{ND}} + w_c \ln \frac{1}{p_C} + w_u \ln p_{UP} \right). \quad (5)$$

式(5)中:  $p_i$  是网络  $n$  中的第  $i$  个参数.这个代价函数制定的方式是:如果  $p_i$  值的增加对网络有利,则  $p_i' = p_i$ ,如  $SNR$  和  $UP$ ;如果  $p_i$  值的减小对网络有利,则  $p_i' = \frac{1}{p_i}$ ,如  $ND$  和  $C$ ,同时采用对数运算进行尺度变换.

$E_n$  是网络的消除因子,表示网络参数  $p_i$  是否满足服务  $s$  的最低要求,其表示如下:

$$E_n = \prod_i E_{s,p}^n, \\ E_{s,p}^n = \begin{cases} 0 & \text{如果 } p \text{ 不满足要求} \\ 1 & \text{如果 } p \text{ 满足要求} \end{cases}.$$

#### 1.3.2 网络参数权重

式(5)中  $w_i$  是网络  $n$  中的第  $i$  个参数的权重,体现的是  $p_i$  对网络或用户的重要性,可以通过层次分

析的方法求得. 作者将业务分为语音业务和数据业务.

首先,根据层次分析法中的 1-9 标度法建立决策矩阵,然后进行一致性检验,如果一致性比例满足  $CR < 0.1$ ,则通过检验<sup>[8]</sup>.

$$CR = CI/RI, \\ CI = (\lambda_{\max} - N)/(N - 1). \quad (6)$$

其中,  $CI$  是一致性指标,  $RI$  是判决矩阵平均一致性指标,  $\lambda_{\max}$  决策矩阵的最大特征值,  $N$  是参数的个数.

最后,采用特征值法求权重:

$$Gw_i = \lambda_{\max} w_i. \quad (7)$$

其中,  $G$  是判决矩阵,  $w_i$  是  $\lambda_{\max}$  相对应的特征向量,将  $w_i$  归一化即可得各参数的权重.

#### 1.4 垂直切换算法流程

在建立的异构无线网络环境中,移动终端周期性地检测当前网络和目标网络的 RSS 和 BA,将得到的参数值进行模糊处理,并判断当前的模糊判决值  $FDV_c$  是否大于目标的模糊判决值  $FDV_T$ ,如果大于,则终端继续停留在当前网络,否则,进入代价函数模块.在计算代价函数阶段,计算 SNR、ND、C、UP 这些参数在网络中的代价,选择代价值小的网络接入.

垂直切换算法基本流程如图 3 所示.

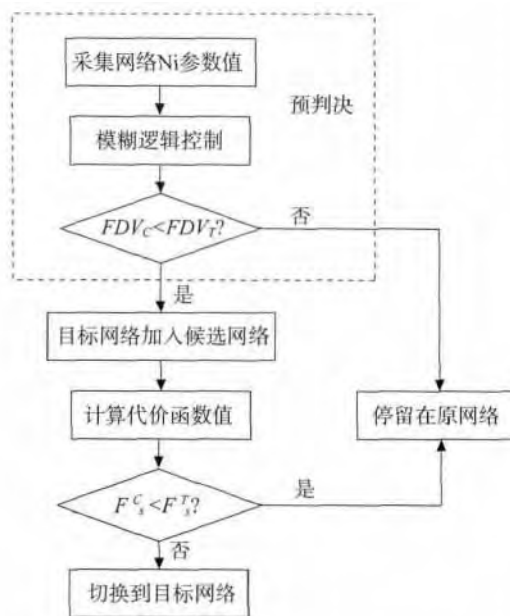


图3 垂直切换算法流程图

## 2 仿真分析

仿真环境是在 UMTS 和 WiMAX 网络融合的场景下,如图 1 所示,其中,UMTS 提供广泛覆盖,基站覆盖范围为 3 000 m; WiMAX 支持热点覆盖,范围为 1 500 m. 假设具有双模功能的终端沿一条直线通过重叠覆盖的区域,仿真中采用的移动速度的范围为 5 ~ 30 m/s,当终端只处于 UMTS 网络覆盖区域时,则选择 UMTS 作为服务网络,当终端处于重叠覆盖区域时,则触发垂直切换算法. 所用到的仿真参数如表 2.

表 3 和表 4 分别为根据 1-9 标度法建立的语音业务决策矩阵和数据业务决策矩阵. 对于语音业务,由于要保证通信的连续性,所以网络时延的权重比较大;而对于数据业务,因为会产生相对比较大的通信量,所以对价格费用比较敏感. 从表 3 和表 4 中可以看出,他们的判决矩阵均具有满意的一致性.

表2 仿真参数表

仿真参数	UMTS/WiMAX
发送功率	1/0.5 W
带宽	7.2/15 MHz
RSS <sub>max</sub>	-70 dBm
RSS <sub>min</sub>	-90 dBm
BA <sub>max</sub>	0.9 Mbps
BA <sub>min</sub>	0.2 Mbps
C	0.9/0.4
ND	40/60ms
UP	0.3/0.5
功率消耗	0.6/0.8

表3 语音业务判决矩阵

SNR	ND	C	UP	W
1	1/5	2	4	0.1885
5	1	6	7	0.6450
1/2	1/6	1	2	0.1047
1/4	1/7	1/2	1	0.0617

注:  $\lambda_{\max} = 4.1051$ ,  $C.R. = 0.0389 < 0.1$ .

表4 数据业务判决矩阵

SNR	ND	C	UP	W
1	1/3	1/5	4	0.1200
3	1	1/4	6	0.2442
5	4	1	7	0.5882
1/4	1/6	1/7	1	0.0476

注:  $\lambda_{\max} = 4.2473$ ,  $C.R. = 0.0916 < 0.1$ .

图4从移动终端在不同速度下的切换次数对提出的垂直切换算法进行了对比分析. 对比的对象分别采用了基于RSS和SNR差值两种切换触发方式, 切换判决采用了传统的单门限切换判决方法和模糊切换判决方法. 由图4中可以看出, 在采用了相同切换触发方式的前提下, 基于SNR差值的触发可以更为有效地降低切换发生的次数, 原因是基于RSS的触发方式只以当前服务网络的信道情况为依据, 并不考虑目标网络的信道状况, 换句话说, 在当前服务网络的信道状况比较差的情况下, 目标网络的信道质量也不一定能够为用户提供所需要的服务. 而以目标网络与当前服务网络的SNR差值作为切换触发的条件则能够同时考虑两个网络的信道质量, 只有当目标网络的信道质量明显好与当前网络时, 才会执行切换, 这样才会使得用户对切换做出更加精准的判断. 采用模糊切换判决的方法也能显著地减少切换次数, 抑制“乒乓效应”的发生, 这是因为模糊逻辑能够同时处理多个输入的网络参数, 将确定值在对应的范围内模糊化为语言变量, 然后再综合其他输入的网络参数经过模糊推理和解模糊化输出网络的性能值. 基于模糊差值的切换判决方法既考虑了多个网络参数, 同时又考虑了当前服务网络和目标网络的信道质量, 对切换判决具有更高的准确性. 通过仿真验证了上述结论的正确性.

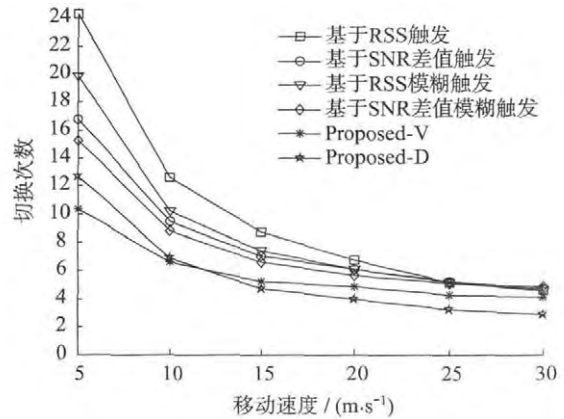


图4 不同速率下的切换次数比较

本章在提出算法的基础上考虑了2种业务: 语音业务(Proposed-V)和数据业务(Proposed-D). 该算法中考虑了更多的判决因素, 包括客观的基于模糊逻辑的预判决阶段, 以及基于代价函数的最终判决阶段, 其中代价函数的权重因子则带有部分主观的因素, 因此, 该算法更能够准确地对两种网络作出切换判决, 同时也有效地降低了切换的次数, 减少了系统的开销.

图5和图6是从移动终端在不同速度下的功率消耗方面对提出的算法进行了对比分析. 从图5中可以看出基于SNR差值(模糊)触发的功率消耗比基于RSS(模糊)触发的功率消耗要低, 这是因为基于SNR的切换触发更多的时间接入的是功耗相对较低的UMTS网络, 而基于RSS的切换触发则接入功耗相对要高的WiMAX网络的时间则比基于SNR触发的要多. 从图6中则可以看出, 数据业务的功率消耗要高于语音业务的功率消耗, 这是因为在数据业务下, 移动终端更多的选择能够提供带宽更高但功耗相对要高的WiMAX网络.

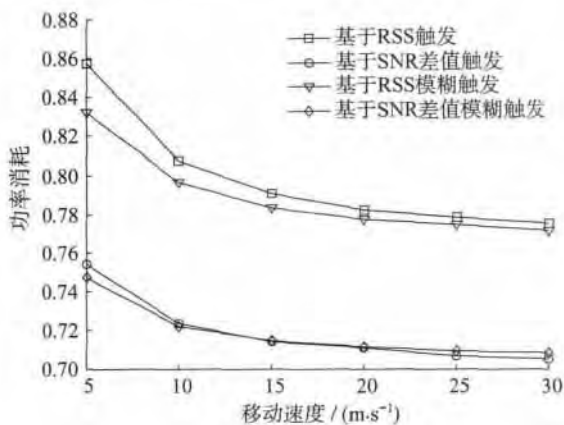


图5 不同速率下的功率消耗对比

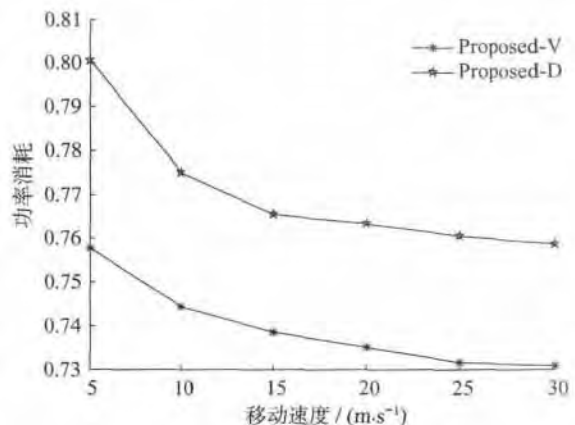


图6 两种业务在不同速度下的功率消耗

### 3 小 结

针对移动终端在异构无线网络环境下的切换问题,给出了一种基于 UMTS/WiMAX 网络融合的多属性垂直切换算法.该算法首先将具有动态变化的网络参数 RSS 和 BA 作为输入参数进行模糊处理,得到网络的预判决值;在预判决条件满足的情况下,提出了基于代价函数的切换判决方法,该方法采用层次分析法计算代价函数的网络参数 SNR,ND,C,UP 的相对权重,得到最终的切换判决值.另外,算法中还加入了约束条件,用来减少切换的次数,提高系统的效率.

### 参考文献:

- [1] LEE S, SRIRAM K, KIM K, et al. Vertical Handoff Decision Algorithm for Providing Optimized Performance in Heterogeneous Wireless Networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(2): 865–881.
- [2] 刘侠, 蒋铃鸽, 何晨. 一种异构网络的垂直切换算法 [J]. 上海交通大学学报, 2006, 40(5): 742–746.
- [3] 刘胜美, 孟庆民, 潘甦, 等. 异构无线网络中基于 SINR 和层次分析法的 SAW 垂直切换算法研究 [J]. 电子与信息学报, 2011, 33(1): 235–239.
- [4] 桃洋, 彭蓉, 黄宏程. 基于运动趋势的模糊逻辑垂直切换算法 [J]. 电视技术, 2012, 36(3): 95–98.
- [5] 谢显中, 肖博仁, 马彬, 等. 代价函数权值可变的速度自适应的异构无线网络垂直切换算法 [J]. 电子学报, 2011, 39(10): 2417–2421.
- [6] KUNARAK S, SULEESATHIRA R. Predictive RSS with Fuzzy Logic based Vertical Handoff Algorithm in Heterogeneous Wireless Networks [C]. International Conference on Advanced Technologies for Communications, Ho Chi Minh: IEEE, 2010.
- [7] XU H B, TIAN H, ZHANG P. A novel terminal-controlled handover scheme in heterogeneous wireless networks [J]. Computers and Electrical Engineering, 2009, 2010(36): 269–279.
- [8] 刘胜美, 孟庆民, 潘甦, 等. 异构无线网络中基于 SINR 和层次分析法的 SAW 垂直切换算法研究 [J]. 电子与信息学报, 2011, 33(1): 235–239.

## A multi-attribute vertical handoff scheme for heterogeneous wireless networks

JI Xiaolong, ZHANG Jing

(College of Information, Mechanical and Electrical Engineering, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

**Abstract:** In order to meet the user demand for different services as well as to mitigate the Ping-pong effect caused by vertical handoff for wireless network, a multi-attribute vertical handoff scheme for heterogeneous wireless network is proposed. In the algorithm, a fuzzy logic method is used to make pre-decision. The optimal handoff target network is selected by a cost function of network which uses an Analytic Hierarchy Process to calculate the weights of SNR, delay, cost and user preference in different business scenarios. Simulation is performed in the environment which is overlapped by WiMAX and UMTS networks. Results show that the proposed approach can effectively reduce the number of handoff and power consumption in a condition to satisfy the user needs.

**Key words:** heterogeneous network; SNR; vertical handoff; fuzzy logic; analytic hierarchy process

(责任编辑: 包震宇)