

## 模糊控制在垂直切换判决算法中的应用

王 佳\*

(湖北工业大学 计算机学院, 武汉 430068)

(\* 通信作者电子邮箱 ambn-136@163.com)

**摘 要:**为了满足用户的各种通信需求,垂直切换判决算法中考虑的因素越来越多,判决因素的增加,使得切换判决所需的时间延长,不能够实现快而有效的切换判决,影响了移动终端的实用性。并行模糊控制系统使得各判决因素同时进行模糊推理且大大减少模糊规则的数量,降低了切换判决的时延。把网络可用带宽、用户移动速度及网络的服务费用作为判决因素进入并行模糊控制系统,通过用户服务类型的不同,对各判决因素动态地计算相应的权值,同时各判决因素通过模糊控制系统的输出值与权值对应相乘相加,从而得到最优的切换目标网络。仿真结果表明,该算法增强了切换的准确性,减少了不必要的切换,增强了系统性能。

**关键词:**垂直切换;切换判决;模糊控制;并行模糊控制;动态权值

**中图分类号:** TN929.5      **文献标志码:** A

### Vertical handoff algorithm based on fuzzy logic control

WANG Jia\*

(College of Computer, Hubei University of Technology, Wuhan Hubei 430068, China)

**Abstract:** In order to meet different needs of users, more and more factors need considering in the vertical handoff algorithm. Hence, time that handoff decision needs prolongs. Fast and efficient handoff decision cannot be achieved and the application of mobile node gets affected. Parallel fuzzy logic makes fuzzy inference on judgment factors at the same time, and decreases the number of fuzzy rules, then reduces the time of handoff decision. This paper chose some judgment factors to pass the parallel fuzzy logic, including network available bandwidth, user's moving speed and cost of the network services, calculated the weights of judgment factors according to different service type of the users, and then calculated the score of the candidates networks based on the output of parallel fuzzy logic and the weight. The simulation results show that the proposed algorithm enhances the accuracy of handoff, reduces the unnecessary handoff, and improves the performance of system.

**Key words:** vertical handoff; handoff decision; fuzzy control; parallel fuzzy logic; dynamic weight

## 0 引言

垂直切换算法中对其性能产生直接影响的是切换判决过程。文献[1]根据经常用到的切换判决因素把切换判决算法分为基于接收到的信号强度(Received Signal Strength, RSS)的算法<sup>[2]</sup>、基于带宽的算法<sup>[3]</sup>、基于代价函数的算法<sup>[4-5]</sup>及各种方法结合<sup>[6-15]</sup>的算法。其中,基于RSS的算法和基于带宽的算法简单,但仅仅局限于一个判决因素,切换的准确度不高;基于代价函数的切换算法要设计出一个高效而且简单的函数作为决策目标函数;各种方法结合使用的切换判决算法中,文献[1]认为模糊控制和人工神经网络是目前最为流行的方法。在模糊控制系统的使用中,不需要知道精确的数学模型,同时较容易实现实时的控制,又由于垂直切换是一种典型的多属性判决问题,本文对切换判决算法的研究采用模糊控制与多属性判决相结合的方法。

4G通信时代的到来,多模终端的普及,人们对通信质量要求的提高,使得切换判决算法中考虑的因素不断增加。切换判决因素的增加,可以提高切换的准确度,但同时也大大延长了切换判决所用的时间,二者的权衡成为研究重点。在基于模糊控制的各种切换算法中主要存在着以下不足:1)对判决因素的选择不能考虑用户对服务应用的需求<sup>[6-8,12]</sup>,即切换

目标网络在一些方面(如价格、电池电量等)并不能满足用户的意愿,在切换过程中用户处于被动状态,不能准确及时地反映出网络的当前状况等。对于判决因素的选择至少应该满足:能够反映当前时刻的网络状况及说明用户对网络的服务请求。2)各种判决因素的权重计算。网络的当前状态(如带宽、信噪比等)是在不断变化的,对当前网络的正确评价有助于减少切换的乒乓效应,动态权重则成为衡量网络状况必不可少的工具。文献[8,12]用标度1~9的方法来计算权重,可以得到较为客观的动态权重,也是目前较为准确的权重计算方法。文献[10]用遗传算法来计算各判决因素的权重,但遗传算法的计算较为复杂。文献[13]用简单加权法(Simple Additive Weighting, SAW)来得到最优切换目标网络,但对权重的计算没有给出详细说明。对于传统的多输入单输出的模糊控制系统,判决因素的增加使其模糊规则的数量呈指数增长,大大增加了模糊推理所使用的时间,同时延长了切换判决的时间。针对于此,文献[9-11]用到了并行模糊控制系统,即使多个判决因素通过多个而不是一个模糊控制系统,各模糊控制系统可以同时地、并行地进行模糊推理,减少了模糊规则的数量,缩短了切换判决的时间。文献[9]把判决因素进行分类,各分类的模糊控制系统可以并行计算。文献[10-11]则是各判别因素分别使用模糊控制系统,减少了切换判

收稿日期:2012-04-17;修回日期:2012-06-05。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61001020);广西自然科学基金资助项目(2010GXNSFB013049)。

作者简介:王佳(1987-),女,山东济南人,硕士研究生,主要研究方向:无线网络管理。

决所使用的时间,同时提高了系统的性能。但是文献[9-11]均没有考虑用 RSS 来减少进入模糊控制系统的网络数量。当用户环境中存在多个无线网络且大部分网络的 RSS 的值不满足于切换时,大大增加了切换的时间,同时容易产生乒乓效应。

根据以上的分析,文章采用并行模糊控制系统,同时通过对各种判决因素(如网络费用、电池电量、可用带宽、信噪比等)在满足用户的服务请求及反映当前网络状况的比较权衡下,把在切换判决中较为重要的网络可用带宽(Bth)、用户移动速度(Spd)、网络的服务费用(Cst)及用户服务类型作为切换算法的判决因素,充分考虑了网络端和用户端的情况,提出了一种基于模糊控制的垂直切换判决算法。

## 1 基于模糊控制的垂直切换判决算法

### 1.1 模糊控制系统

模糊控制系统由模糊化、模糊规则及其推理和去模糊化组成。其中,模糊化是把输入变量按照隶属度函数得出相对应的隶属值。文章中用 Bth、Spd 及 Cst 作为判决因素,每个判决因素分别对应于高、中、低三个条件序列,各判决因素利用各自的隶属度函数映射到模糊集合中。图 1~3 分别是 Bth、Spd 及 Cst 的隶属度函数。

由模糊化得到的隶属值根据相对应的模糊规则进行推理,模糊控制系统的模糊规则是呈指数增长的,同一模糊控制系统的多个输入参数在增加了切换精确度的同时,延长了切换判决的时间,本文的模糊控制切换算法利用文献[10-11]提出的并行模糊控制系统的方法,对每个判决因素建立各自的模糊控制系统,使得各模糊控制系统间可以并行推理,减少了切换判决的时延,同时每个独立的模糊控制系统也可以增加各自的模糊规则来增强输出值的准确度,提高切换的精度。在各网络的判决因素进入模糊控制系统前,使用与 RSS 门限值比较的方法判断该网络是否可以

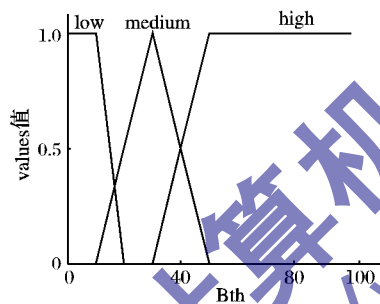


图 1 Bth 的隶属度函数

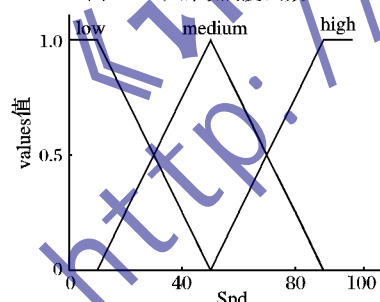


图 2 Spd 的隶属度函数

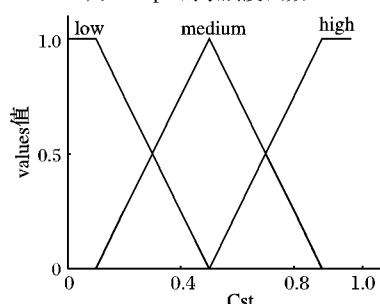


图 3 Cst 的隶属度函数

以作为切换的候选网络。若网络的 RSS 值大于所设定的门限值,则该网络的各判决因素可以进入模糊控制系统;否则,该网络不能够满足切换的基本条件,不能进入模糊控制系统。文章为了仿真简略,只采用了{高、中、低}三个条件序列。去模糊化是根据模糊规则得到的判决策略,利用中心法将模糊

值变为精确解。经过并行模糊控制系统后,不同网络的相同属性间具有了可比性,不需要在下一步计算中再次进行归一量化,简化了计算过程。

### 1.2 动态权值

不同的服务类型,对各判决因素的要求也是不同的。例如:实时的视频业务就需要高带宽、低服务费用、低丢包率的网络,而对于非实时的业务对带宽的要求就不至于很高。为了满足用户不同的服务类型,文章根据服务类型的不同由 1~9 标度对各判决因素构造比较判决矩阵,用特征根法计算各判决因素相应的权值。以实时的视频业务为例,构造出的比较判决矩阵为:

$$G = \begin{matrix} & \begin{matrix} Bth & Spd & Cst \end{matrix} \\ \begin{matrix} Bth \\ Spd \\ Cst \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 6 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/6 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

其他服务类型的比较判决矩阵用同样的方法获得。由式(1)利用最大特征根法,得出各判决因素的对应权重  $Wbth$  (weight of bandwidth, 网络可用带宽的权值)、 $Wspd$  (weight of speed, 用户移动速度的权值)及  $Wcst$  (weight of cost, 网络服务费用的权值)。假设并行模糊控制系统的输出分别为  $Bth'$  (bandwidth', 网络可用带宽的输出)、 $Spd'$  (speed', 用户移动速度的输出)及  $Cst'$  (cost', 网络服务费用的输出),则网络的得分根据式(2)得到:

$$Score = Bth' * Wbth + Spd' * Wspd + Cst' * Wcst \quad (2)$$

最后,多个网络中得分最高的就是最终的目标切换网络。

### 1.3 切换判决算法

基于模糊控制的垂直切换判决算法的描述如下:

- 1) 根据接收到的信号强度判断该网络是否可以成为候选网络,若有候选网络则继续步骤 2);若无候选网络则继续监听信号强度。
- 2) 若只有一个候选网络,则切换至该网络,算法结束;若有多个候选网络,则根据用户的服务类型,计算各判决因素相应的权重,继续步骤 3)。
- 3) 每个候选网络的判决因素进入相应的模糊控制系统进行计算,继续步骤 4)。
- 4) 模糊系统的输出值与相应的权重由式(2)得到各网络的分数,最终确定目标切换网络,算法结束。

其算法流程如图 4 所示。

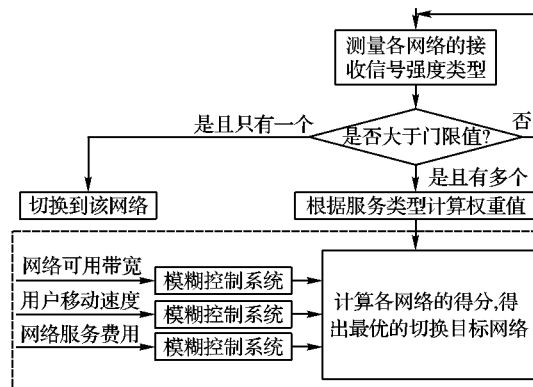


图 4 垂直切换判决算法

## 2 仿真分析

### 2.1 仿真环境

本文用 Matlab 仿真软件进行仿真,采用 LTE 和 Wimax 构

成的异构网络。其仿真环境如图5所示:LTE的网络半径为1000 m,发射功率为33 dBm,最大可用带宽45 Mbps;Wimax的网络半径为300 m,发射功率为23 dBm,最大可用带宽80 Mbps,且Wimax网络处于LTE网络的覆盖范围中。移动终端在异构网中随机运动,采样时间为0.5 s。经过多次反复测试,分别把LTE、Wimax的接收信号强度的门限值设为-102 dBm和-100 dBm。

## 2.2 仿真结果

从图6的仿真结果可以看出,随着仿真次数的增加,切换的次数也在不断增加,但相同仿真次数的比较中,基于RSS的并行模糊控制的切换算法(Parallel Fuzzy logic based on RSS, PFRSS)的切换次数要小于传统的设置RSS门限值的切换算法(Tradition based on RSS, TRSS)的切换次数,因为PFRSS除了考虑到RSS的门限值外,还考虑到了网络的可用带宽、用户的移动速度及网络的服务费用,对各个候选网络进行综合评价。

由图7的仿真结果可以看出,PFRSS的切换时延要低于FRSS(fuzzy logic based on RSS,基于RSS的传统的多输入单输出的模糊控制切换算法)的切换时延,因为PFRSS的判决因素在各自的模糊控制系统中并行推理,同时模糊规则的数量远远地小于FRSS。其中,TRSS、FRSS及PFRSS的平均时延分别为:0.751 2 s、0.747 6 s和0.735 0 s。

从图8的仿真结果可以看出,PFRSS的阻塞概率高于FRSS和TRSS。切换的阻塞概率高,表明阻止了很多不必要的切换,减少了切换次数,同时提高了切换的准确度,降低了系统资源的浪费。TRSS、FRSS及PFRSS的平均阻塞概率分别为:86.97%、93.73%和95.88%。

## 3 结语

本文根据用户的不同需求,对各判决因素动态地计算权重,同时把网络的可用带宽、用户的移动速度及网络的服务费用作为切换的判决因素,增强了用户对网络的选择权,更能够满足用户自身的需求;使用并行模糊控制系统,大大减少了模糊规则的数量,有效降低了切换判决所需要的时间。从仿真

结果看,该算法能够减少切换的次数,降低了切换时延,从而减少了系统资源的浪费。文中对判决因素权重的计算是基于1~9标度的,使用过程中存在人为主观性,对权重客观的、实时进行计算是以后研究的重点。

## 参考文献:

- [1] YAN X, AHMET Y, NARAYANAN S. A survey of vertical handover decision algorithms in fourth generation heterogeneous wireless networks[J]. *Computer Networks*, 2010, 54(11): 1848–1863.
- [2] ZAHARAN A H, LIANG B, SALEH A. Signal threshold adaptation for vertical handoff in heterogeneous wireless networks[J]. *Mobile Networks and Applications Journal*, 2006, 11(4): 625–640.
- [3] LEE C, CHEN L, CHEN M, *et al*. A framework of handoffs in wireless overlay networks based on mobile IPv6[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2005, 23(11): 2118–2128.
- [4] LEE S, SRIRAM K, KIM K. Vertical handoff decision algorithms for providing optimized performance in heterogeneous wireless networks[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2009, 58(2): 865–881.
- [5] GOYAL P, SAXENA S K. A dynamic decision model for vertical handoffs across heterogeneous wireless networks[J]. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 2008, 31: 676–681.
- [6] ISRAT P, CHAKMA N, HASHEM M N A. A fuzzy logic-based adaptive handoff management protocol for next-generation wireless systems[J]. *Journal of Networks*, 2009, 4(10): 931–940.
- [7] MAJLESI A, KHALAJ B H. An adaptive fuzzy logic based handoff algorithm for interworking between WLANs and mobile networks[C]// 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2002: 2446–2451.
- [8] VASU K, MAHESHWARI S, MAHAPATRA S. QoS aware fuzzy rule based vertical handoff decision algorithm for wireless heterogeneous networks[C]// 2011 National Conference on Communications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2011: 1–5.
- [9] THUMTHAWATWORN T, PERVEZ A, SANTIPRABHOB P. Modular handover decision system based on fuzzy logic for wireless networks[C]// 2011 8th International Conference on Electrical Engineering Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2011: 385–388.
- [10] ALKHAWLANI M, AYESH A. Access network selection based on fuzzy logic and genetic algorithms[J]. *Advances in Artificial Intelligence*, 2008, 8(1): 1–12.
- [11] ALKHAWLANI M M, ALSALEM K A, HUSSEIN A A. Multi-criteria vertical handover by TOPSIS and fuzzy logic[C]// 2011 International Conference on Communications and Information Technology. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2011: 96–102.
- [12] SHARNA S A, MURSHED M. Performance improvement of vertical handoff algorithms for QoS support over heterogeneous wireless networks[C]// 34th Australasian Computer Science Conference. Sydney: Australian Computer Society, 2011: 1–8.
- [13] TAWIL R, PUJOLLE G, SALAZAR O. A vertical handoff decision scheme in heterogeneous wireless systems[C]// 2008 IEEE 67th Vehicular Technology Conference. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 2626–2630.
- [14] 苑学明, 唐宏. 基于灰色预测模型的跨层切换优化[J]. *计算机应用*, 2010, 30(1): 137–139.
- [15] MEHBODNIYA A, AISSA S, CHITIZADEH J. A location-aware vertical handoff algorithm for hybrid networks[J]. *Journal of communications*, 2010, 5(7): 521–529.

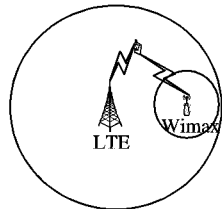


图5 异构无线网络环境

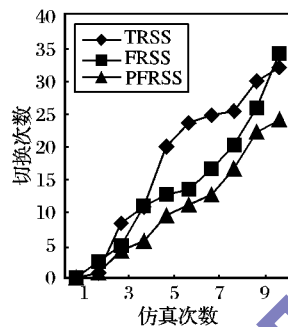


图6 平均切换次数比较

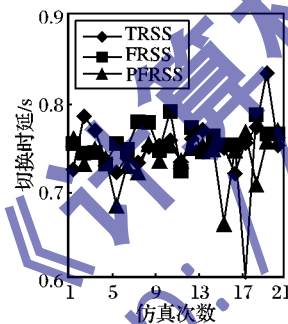


图7 平均切换时延的比较

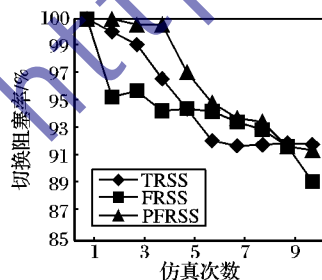


图8 切换阻塞概率比较