

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2015.03.018

# 模糊控制系统的垂直切换判决算法分析

孟超<sup>1a</sup>, 朱耀麟<sup>1b</sup>, 丁淑雯<sup>2</sup>

(1. 西安工程大学 a. 科技处; b. 电子信息学院, 西安 710048;  
2. 西安邮电大学 通信与信息工程学院, 西安 710061)

**摘要:** 针对模糊控制系统中切换时延较长和切换次数较多的问题, 研究了一种基于模糊控制系统的垂直切换判决算法。在基于信号强度判决时将 RSS 作为门限值, 提高系统判决能力; 同时, 将网络参数和服务类型作为判决因素, 结合层次分析法引入并行的模糊控制系统, 缩短了切换判决的时间、选择适合用户的最佳网络, 做出垂直切换。仿真结果表明, 该算法减少了切换次数, 降低了切换时延, 增强了系统的性能。与传统的切换算法相比较, 该算法对切换的判决因素考虑的更全面, 兼顾了用户终端的使用环境及成本问题, 有效地保证了网络的服务质量。

**关键词:** 异构网络; 垂直切换; 模糊控制; 动态权值

**中图分类号:** TN871

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-582X(2015)03-0131-06

## Research on an algorithm of fuzzy control based vertical handoff

MENG Chao<sup>1a</sup>, ZHU Yaolin<sup>1b</sup>, DING Shuwen<sup>2</sup>

(1a. The Department of Science and Technology; 1b. College of Electronics and Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, P.R.China; 2. School of Telecommunication and Information Engineering, Xi'an University of Posts & Telecommunications, Xi'an 701148, P.R.China)

**Abstract:** Aiming at the problem that there are many switching delay and switching times in fuzzy control system, a fuzzy control based vertical handoff algorithm is proposed to solve the problem of handoff. The received signal strength is adopted to set up the threshold, and the ability of decision is improved. The network parameters and service type are set as decision factors, and analytic hierarchy process is combined with the parallel fuzzy control system to shorten decision time and select the best suitable network for users. The simulation result shows that the algorithm can reduce the time and frequency of handoff and enhance the performance of the system. Compared with the traditional handover algorithm, the algorithm considers comprehensive decision factors, and it not only takes the use of the environment and the cost of the user terminal into account, but effectively ensures the quality of service of the network.

**Key words:** heterogeneous network; vertical handoff; fuzzy control; dynamic weight

垂直切换是实现网络融合的关键, 好的切换算法能做出最优的切换决策为用户提供高的服务质量。有些算法<sup>[1-4]</sup>的考虑因素单一, 不足以在异构网络切换中做出好的判决。文献[5]引用模糊逻辑思想提出切换判决算法。模糊控制系统的使用中, 不需要知道精确的数学模型, 而且比较容易实现实时控制。文献[6]中

**收稿日期:** 2014-12-11

**基金项目:** 陕西省科技厅国际合作资助项目(2013KW04-02); 西安市科技局技术转移促进工程资助项目(CXY 1349(2))。

Supported by International Cooperation Program Shanxi Provincial Department of Science and Technology (2013KW04-02); Technical Transform Project of xi'an Science and Technology(CXY 1349(2)).

**作者简介:** 孟超(1987-), 男, 主要从事研制系统方向研究, (E-mail)675061841@qq.com。

的算法使用多输入单输出的模糊控制系统,这种判决方法考虑因素较为全面,但是随着判决因素的增加模糊规则的数量呈指数增加,大大增加模糊推理的时间,从而也使得判决时间延长。基于此,有人提出并行模糊控制系统<sup>[7-8]</sup>,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并行地进行模糊推理,减少模糊推理数量,缩短了切换判决的时间。文献[7]把网络端的主要参数作为判决因素,没有考虑服务类型,文献[8]不仅把网络端的因素作为判决因素还把终端的电池电量和网络费用考虑在内,并使每个因素分别通过一个模糊控制系统,减少了判决时间,但是增加了系统的复杂度。但文献[7]和文献[8]在判决之前都没有考虑用RSS来减少候选网络的数量,当环境中存在多个网络且有些网络的RSS并不满足切换要求时这些网络就会造成乒乓效应,削弱系统的判决能力。

根据以上分析,改进了一种基于并行模糊控制系统的垂直切换算法,该算法将RSS作为门限值,将网络可用带宽(B)、覆盖范围(Ca)、信噪比(SNR)、网络时延(Td)、终端移动速度(Spd)以及服务费用(Cst)作为判决因素,根据服务类型确定各因素的动态权值,并使这些因素通过并行模糊控制系统,减少切换判决时间的同时降低了系统的复杂度。

## 1 模糊控制系统

模糊控制系统包含3个模块:参数模糊化、模糊推理以及去模糊。模糊控制的基本过程是将输入参数模糊化得到模糊语言变量,然后根据模糊规则进行模糊推理,最后去模糊化得到一个输出值。模糊控制系统如图1所示

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,模糊控制切换算法采用并行模糊控制系统的方法,对判决因素建立相应的模糊控制系统,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模糊规则来增强输出值的准确度。

### 1.1 参数模糊化

考虑的切换指标有网络可用带宽(B)、网络覆盖范围(Ca)、信噪比(SNR)、网络时延(Td)、终端移动速度(Spd)以及服务费用(Cst),根据这些指标综合评判网络性能可以使用户在复杂的网络环境中选出适合自己的最优网络,实现最佳的垂直切换。

$I(x)$ 表示切换指标最初实际输入的参数值, $i(x)$ 表示 $x$ 归一化的值, $\text{Min}(x)$ 和 $\text{Max}(x)$ 分别表示切换指标的最低和最高门限值。例如,对于可用带宽指标, $\text{Min}(x)$ 和 $\text{Max}(x)$ 分别为用户能接受的最低带宽和网络能提供的最高带宽;对于覆盖范围指标 $\text{Min}(x)$ 和 $\text{Max}(x)$ 分别为用户能接受的最小覆盖范围和网络可以提供的最大覆盖范围;对于服务费用指标 $\text{Min}(x)$ 和 $\text{Max}(x)$ 分别为用户能接受的低费用的上限和高费用的下限。将这些指标归一化,0表示切换指标小于或等于 $\text{Min}(x)$ ,1表示大于或等于 $\text{Max}(x)$ ,介于0和1之间的值用公式(1)进行换算

$$i(x) = \frac{I(x) - \text{Min}(x)}{\text{Max}(x) - \text{Min}(x)}, \quad (1)$$

其中: $x$ 的取值分别为B,Ca,SNR,Td,Spd,Cst。

将收集到的原始网络参数值利用公式(1)归一化后作为模糊控制系统的输入参数: $i(B)$ , $i(Ca)$ , $i(\text{SNR})$ , $i(\text{Td})$ , $i(\text{Spd})$ , $i(\text{Cst})$ 。再根据各输入参数的隶属度函数把输入参数映射为模糊语言变量。

图2是根据文献[7-8]得出的各输入参数的隶属度函数,横轴是每个参数的归一化值,纵轴为各参数的隶属度函数,每个输入参数分别对应于低、中、高3个条件序列,各判决因素根据各自的隶属度函数映射到模糊集{低、中、高}中。

### 1.2 模糊推理

模糊推理是模糊控制系统的重要组成部分,利用模糊规则进行推理,模糊规则采用“If...then...”格式。每个模糊控制系统定义了2个模糊变量以及“高”、“中”、“低”3个模糊集值,所以每个模糊系统的模糊规则最

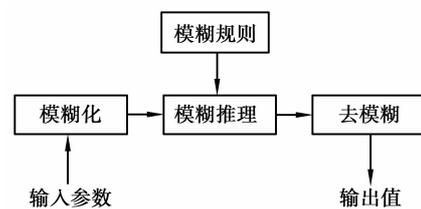


图1 模糊控制系统

Fig.1 Fuzzy control system

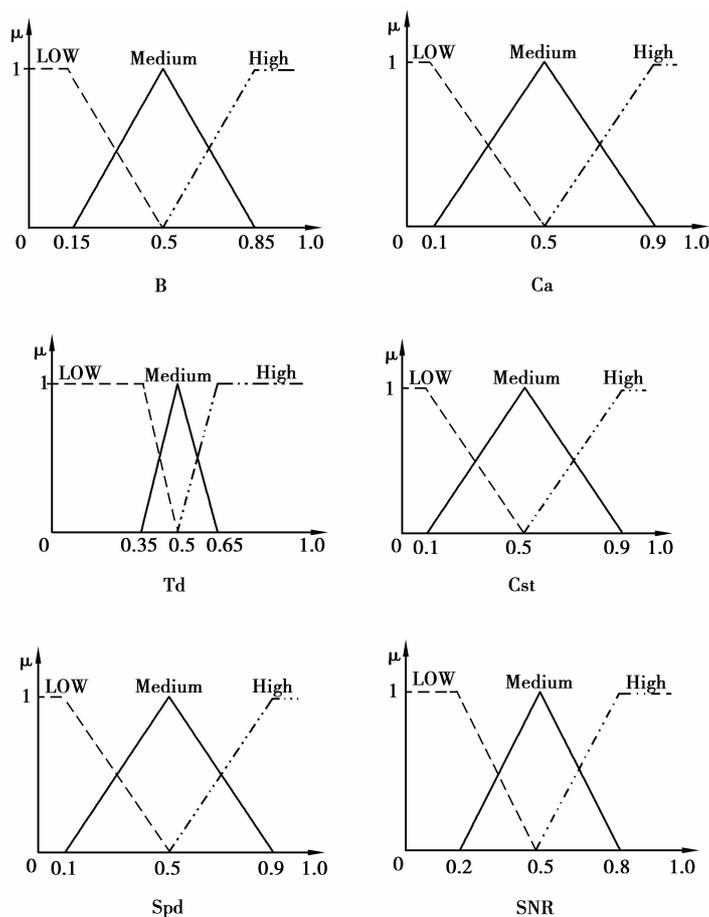


图 2 各参数的隶属度函数

Fig.2 Membership function of the paramenters

多有 9 条,隶属度区间为[1-9]。数值越大表示移动节点对当前接入点的隶属度越高,数值越小表示移动节点对当前接入点的隶属度越低。具体的模糊规则如下

If B=H and Ca=H then output is 9;

If B=H and Ca=M then output is 8;

If B=M and Ca=H then output is 7;

.....

If B=L and Ca=L then output is 1;

### 1.3 去模糊

经过模糊推理模块出来的结果是模糊量,需要经过去模糊才能输出具体所需要的数值。采用重心法进行去模糊化,由于每个模糊系统有 2 个模糊变量以及 3 个模糊集,所以模糊规则最多有  $3^2 = 9$  条。具体公式如式(2)所示

$$Out = \frac{\sum_{j=1}^9 (output_j \sum_{i=1}^2 \mu_{i,j})}{\sum_{j=1}^9 \sum_{i=1}^2 (\mu_{i,j})} \quad (2)$$

式中:  $output_j$  是第  $j$  条规则的输出,  $\mu_{i,j}$  是第  $j$  条规则的第  $i$  个隶属度。

## 2 基于模糊控制系统的切换判决算法

### 2.1 动态权值

对于不同的服务类型,用户对个判决因素的要求是不一样的。例如,实时的视频业务需要高带宽、低时

延、低服务费用、低丢包率的网络,而非实时的语音业务则对带宽和时延的要求不那么高。所以,为了满足不同用户对不同业务的需求,根据服务类型的不同对判决矩阵中的各判决因素采用 1-9 的标度<sup>[9-10]</sup>,然后用特征根法计算各判决因素相应的权值。以低速移动中的用户进行实时视频业务为例,利用层次分析法<sup>[11-12]</sup>构造的判决矩阵如下

$$G = \begin{matrix} & \begin{matrix} Ca & Spd & SNR & Cst & Td & B \end{matrix} \\ \begin{matrix} Ca \\ Spd \\ SNR \\ Cst \\ Td \\ B \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 & 6 & 7 & 9 \\ \frac{1}{3} & 1 & 3 & 4 & 6 & 7 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & 1 & 3 & 4 & 6 \\ \frac{1}{6} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & 1 & 3 & 4 \\ \frac{1}{7} & \frac{1}{6} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & 1 & 3 \\ \frac{1}{9} & \frac{1}{7} & \frac{1}{6} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

其他服务类型的判决矩阵构建方法相同,由公式(3)利用最大特征根法得到各判决因素相应的权重值。假设网络可用带宽(B)、网络覆盖范围(Ca)、信噪比(SNR)、网络时延(Td)、终端移动速度(Spd)以及服务费用(Cst)的权重值分别用  $W_b$ 、 $W_{ca}$ 、 $W_{snr}$ 、 $W_{td}$ 、 $W_{cst}$  和  $W_{spd}$  表示,3 个模糊控制系统的输出值分别用  $Out_1$ 、 $Out_2$  和  $Out_3$  表示,则各候选网络的得分由下式得出

$$Score = Out_1 \cdot (W_b + W_{ca}) + Out_2 \cdot (W_{snr} + W_{td}) + Out_3 \cdot (W_{cst} + W_{spd}) \quad (4)$$

### 2.2 切换判决算法

在每个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,则该网络的判决因素可以进入模糊控制系统,否则,该网络不满足切换的基本条件,不能进入模糊控制系统。

由此,切换判决算法描述如下

- 1) 根据接收到的信号强度判断该网络能否成为候选网络,若可以则进行下一步骤,否则继续监听信号强度;
- 2) 如果只有一个候选网络则切换到该网络,算法结束;如果有多个候选网络,则根据服务类型计算候选网络各判决因素的权重值;
- 3) 各候选网络的判决因素进入相应的模糊控制系统进行计算;
- 4) 利用模糊系统的输出值与相应的权重值根据公式(3)进行计算,得出各网络的分数,选出最优网络进行切换。

## 3 仿真结果分析

仿真模型如图 4 所示的系统模型,采用 TD-LTE、LTEFDD、WLAN<sub>1</sub> 和 WLAN<sub>2</sub> 构成的异构网络。其中 TD-LTE 和 LTEFDD 网络的覆盖半径为 1 000m,重叠区域的蓝色直线距离为 200 m,最大可用带宽为 45 Mbps,接收信号强度的门限值设为 -102 dbm;WLAN<sub>1</sub> 和 WLAN<sub>2</sub> 网络的覆盖半径为 100 m,最大可用带宽为 80 Mbps,接收信号强度的门限值设为 -100 dbm。用户终端从 A 点开始沿着蓝色直线移动到 B 点,途经网络为 TD-LTE-WLAN<sub>1</sub>-TD-LTE-LTEFDD-WLAN<sub>2</sub>-LTEFDD,移动速度为 60 m/s,检测终端发生的切换次数和切换时延并与传统基于 RSS 的切换算法相比较。

由图 5 的仿真结果可以看出,与传统的基于接受信号强度的算法相比本文改进的算法切换次数明显减少,

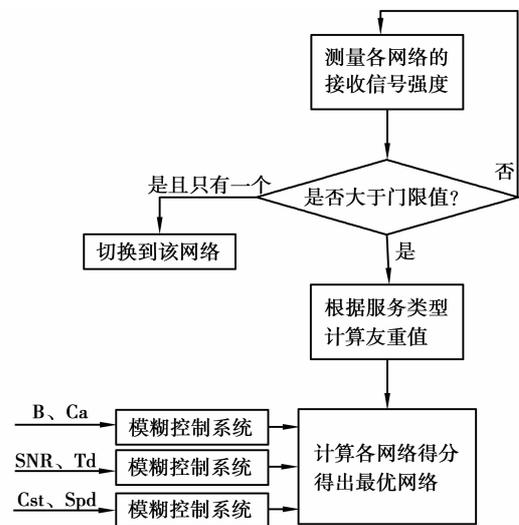


图 3 切换判决算法流程

Fig.3 Handoff decision algorithm flow

图 6 则表明研究算法可以缩短切换判决时间,可见算法能有效减少切换次数,提高异构网络的切换效率。

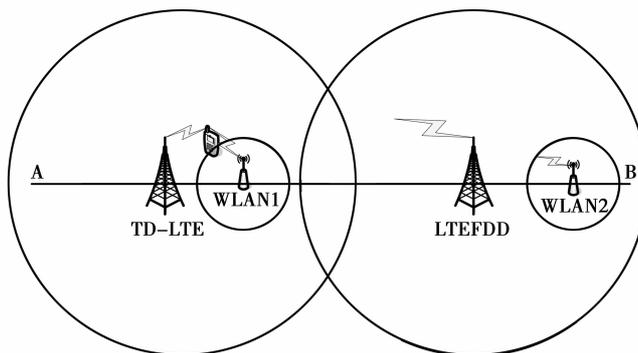


图 4 系统模型

Fig.4 System model

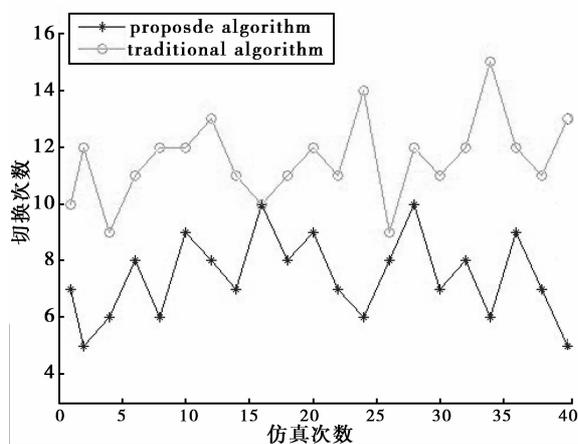


图 5 切换次数比较

Fig.5 Switching frequency comparison

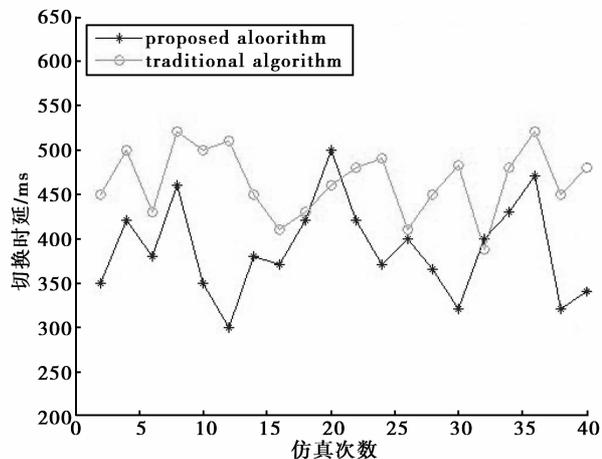


图 6 切换时延比较

Fig.6 Switching delay comparison

## 4 结 语

改进的算法考虑了网络可用带宽、网络覆盖范围、信噪比、网络时延、终端移动速度以及服务费用方面的综合因素,根据不同用户对服务类型的不同需求对这些因素的权重值进行动态的计算,增强了用户对网络的选择权,在兼顾各方的基础上采用并行的模糊控制系统,大大减少了模糊规则的数量,有效降低了切换判决的时间,并且在算法中设置了阈值来消除乒乓效应。从仿真结果看,算法能够减少切换的次数,降低切换的时延,有效抑制不必要切换的发生。判决因素动态权重的计算存在人为主观性,对权重进行客观的计算是今后研究的重点。

### 参考文献:

- [1] Lee S K, Sriram K, Kyungsoo K, et al. Vertical handoff decision algorithms for providing optimized performance in heterogeneous wireless networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(2): 865-881.
- [2] Jae W S. Vertical handoff in integrated cdma and wlan systems [J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2008, 62(6): 478-482.
- [3] Roy S D Anup S. Received signal strength based vertical handoff algorithm in 3G cellular network [C]. IEEE International Conference on Digital Object Identifier: 2012: 326-330.
- [4] Lee C, Chen L, Chen M, et al. A framework of handoffs in wire-less overlay networks based on mobile IPv6 [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(11): 2118-2128.

- [ 5 ] Ma B, Liao F. Speed-adaptive vertical handoff algorithm based on fuzzy logic in vehicular heterogeneous networks [C]. IEEE International Conference on Digital Object Identifier, 2012;371-375 .
- [ 6 ] Fan Z H, Zhang Z X, Wang H. A vertical handoff algorithm application to the integration of wlan and wman wireless heterogeneous networks[C].International Conference on Computational and Information Sciences,2012(4):803-806.
- [ 7 ] 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.
- [ 8 ] Alkhawlan M M, Alsalem K A, Hussein A A. Multicriteria vertical handover by topsis and fuzzy logic [C]. 2011 International Conference on Communications and Information Technology. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2011; 96-102.
- [ 9 ] Vasuk, Maheshwaris, Mahapatras. 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.
- [10] Faisal K, Abolfazl M, Arif I, et al. Dynamic target wireless network selection technique using fuzzy linguistic variables [J]. China Communications, 2013(1) ;1-16.
- [11] Abolfazl M, Faisal K, Kang K, et al. A novel wireless network access selection scheme for heterogeneous multimedia traffic [J]. Annual IEEE CCNC Wireless Networking Track ,2013,10:485-489.
- [12] Singhrova A , Prakash N. Vertical handoff decision algorithm for improved quality of service in heterogeneous wireless networks[C]. IET Communications, 2011, 8:211-223.

(编辑 侯 湘)