

# 主动式集群中模糊逻辑及其改进研究

许普乐<sup>1</sup>, 夏明波<sup>2</sup>, 金士尧<sup>2</sup>

(1. 芜湖职业技术学院, 安徽 芜湖 241001;

2. 国防科技大学 并行与分布处理国家重点实验室, 湖南 长沙 410073)

**摘 要:**网络带宽增长速度远高于服务器性能的增长速度, 服务器越来越成为网络中的瓶颈。主动式集群就是为了解决服务器性能而提出的一种先进的集群技术, 该技术的核心就是采用模糊逻辑来实现客户链接的分布调度。这里对其模糊逻辑技术进行研究, 并提出了一些改进方法如增量式模糊控制, 这些方法具有一定的理论意义, 也具有实际的工程意义。在大部分应用中, 可以采用这些方法对模糊逻辑控制进行改进。

**关键词:**集群; 主动式集群; 模糊逻辑; 增量式模糊控制; 模糊神经网络

**中图分类号:**TP393

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2007)07-0120-03

## Fuzzy Logic and Its Improvement in Active Self-Allocating Cluster

XU Pu-le<sup>1</sup>, XIA Ming-bo<sup>2</sup>, JIN Shi-yao<sup>2</sup>

(1. Wuhu Institute of Vocational Technology, Wuhu 241001, China;

2. National Key Lab. for Parallel and Distributed Processing, National Univ. of Defense Techn., Changsha 410073, China)

**Abstract:** Network bandwidth increases far beyond the performance of network server, so the server becomes the bottle-neck of the whole network. The active self-allocating cluster is one kind of advanced cluster technique, which is introduced to resolve the problem of server performance. Its core idea is to apply fuzzy logic control to realize the distributed allocating of client's links. This paper researches the fuzzy logic and gives several improving methods such as incremental fuzzy control, these methods are of both theoretic and practical value, and in most applications these methods could be used to improve fuzzy logic control.

**Key words:** cluster; active self-allocating cluster; fuzzy logic; incremental fuzzy control; fuzzy-neuro network

## 0 引言

从目前网络的发展趋势来看, 网络带宽增长的速度远高于网络服务器处理性能的增长, 网络应用的性能瓶颈越来越多地出现在服务器端。

高性能的网络服务器系统研究已经成为一项急迫的任务。传统的单台服务器很难满足日益增长的计算能力需要, 因为单台服务器计算能力依赖于硬件性能的提高, 因此受限于集成电路技术。另一方面, 硬件性能的提高会逐渐地趋向一个极限, 这个极限是因为电磁波的速度、原子结构及原子间距离等物理特性造成的。

集群技术则是解决该问题的很好的技术路线。

ASAS(Active Self-Allocating Server, 主动自调度服务器, 也叫主动自调度集群服务器, 常简称为主动式集群)<sup>[1,2]</sup> 集群服务器便是在这样的背景下诞生的。ASAS集群服务器中采用了很多先进的技术, 如热备技术、预取技术、入侵防御技术等, 文章研究其模糊逻辑技术及其改进。

## 1 主动式集群的原理

主动式集群由前端集中器(位置上相当负载均衡器)和若干后端执行服务器(相当服务节点)组成, 集群对外拥有唯一的IP地址, 用户通过这个IP地址访问服务时, 请求报文都会集中到集中器上。和负载均衡器不同的是, 请求报文不是由集中器经过负载均衡策略计算后转发给某一个执行服务器去应答, 而是由集中器将请求报文分类、分级缓存在缓冲区内, 由执行服务器根据自身的忙闲情况主动到缓冲区去争取。自调度的意思就是后端的执行服务器根据自己的资源情况, 主动向集中器索取客户的服务请求, 而不是被动地

收稿日期: 2006-09-22

基金项目: 国家创新基金资助项目(04C26213201155); 江苏省火炬计划(H2006291)

作者简介: 许普乐(1980-), 男, 安徽芜湖人, 助教, 研究方向为网络技术; 金士尧, 教授, 博导, 研究方向为系统仿真、信息安全和服务器平台。

等待前端服务器的分配。主动式集群的体系结构如图 1 所示<sup>[1]</sup>。

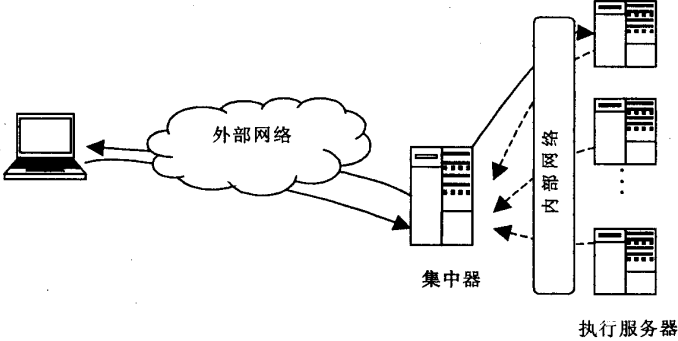


图 1 主动式集群的体系结构

这种执行服务器自调度的集群技术具有分布控制的特点,不需要集中器进行集中的负载平衡和调度,从而减轻了集中器的压力,解决了传统集群服务器中集中器容易成为整个集群系统瓶颈的问题。

2 模糊逻辑在主动式集群中的应用

主动式集群中,后端的执行服务器根据自身的资源情况向前端集中器申请链接数。其中的资源情况可以考虑的有很多,如 cpu 利用率、内存利用率、磁盘的读写、响应时间、网络流量等等。这些指标与下一步该申请的容量数之间没有一个精确的数学模型,因此传统的控制技术失去了应用的理论基础。但是我们发现,这些指标都是一些模糊的量,比如说 cpu 利用率很高、较高、很低、较低,响应时间长、很长、短、较短等,而且这里有经验可以写成模糊规则,比如说当 cpu 利用率较高而且响应时间很长时,则减少链接数(这条规则的依据是,cpu 利用率高,响应时间长,则表明后端的执行服务器很忙,为了保证客户服务的质量即 QoS,就需要减少链接数)。可以很方便地把这些规则整理成模糊逻辑控制表,从而实现链接数申请的模糊逻辑控制。

基于以上思想,我们设计了一个双输入单输出的模糊逻辑控制器(参考文献[3]),其输入为 cpu 利用率和响应时间,输出为链接数,从试验可以看到,该模糊控制器基本能满足主动式集群的性能需要。

3 模糊逻辑的改进

尽管上述模糊逻辑控制器可以满足主动式集群的基本需要,但是为了进一步提高控制器的精度,进一步加强集群系统的并发能力,对该模糊逻辑控制器的改进作了研究,其主要改进技术如下<sup>[4]</sup>。

3.1 增量式模糊控制

前面提到,当考虑输入量较多时,如考虑 cpu 利用

率、内存利用率、磁盘的读写、响应时间、网络流量五个变量,规则数将达到  $7^5 = 16807$  条(这里模糊变量取 7 个模糊子集),如果再求  $\Delta e$ ,规则库就不可控制了,这就是典型的维数爆炸问题。

为了解决这个问题,提出了增量式模糊控制的思想。增量式模糊控制技术的核心思想是把一个复杂的模糊控制器分割成多个子模糊控制器(吸取分而治之 divide and conquer 的思想),每个子控制器都对输出控制量有一定贡献,这些贡献的累积就是整个复杂的模糊控制器的输出。

为了使系统结构更清晰,按各模糊控制器的贡献大小排序,贡献最大的排最下面,最小的排最上面,从数值上来看整个模糊系统被分割成金字塔型的多个子系统。增量式模糊控制器系统结构如图 2 所示。

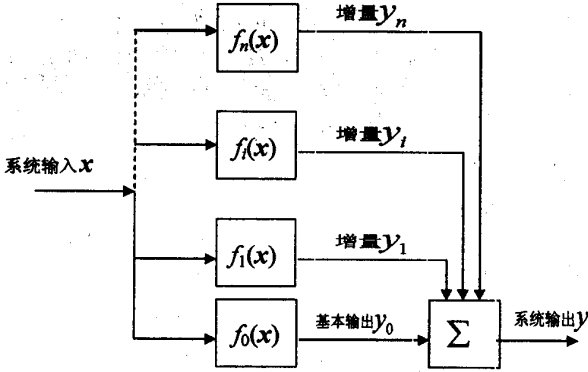


图 2 增量式模糊控制器系统结构图

其中,  $x$  为  $n + 1$  维向量,每个子系统的输入为系统输入向量  $x$  的一个分量(互不相同)。由于子模糊控制器按其贡献度来排序,贡献度最大的排在最下面,因此最底层的控制器的输出基本上决定了系统的输出,依次类推,上层控制器的输出相对系统总输出来说,相当于基本输出的增量(只是对基本输出  $y_0$  的一个调整)。整个模糊控制器的输出是基本输出与各个增量的求和,即

$$y = y_0 + \sum_{i=1}^n y_i$$

选择增量式模糊控制技术,在计算量上大大减少。假设控制器的输入向量模糊分割数相同,输入量个数为  $n$ ,那么在常规模糊控制器的计算复杂度为  $O(A^n)$ ,而在增量式结构的计算机复杂度为  $O(nA)$ ,式中  $A$  代表单个输入时的计算复杂度。可见相对常规模糊控制器计算复杂度,增量式控制器的计算机复杂度大大降低了。在实时系统、多输入系统或计算能力不强的系统,增量式模糊控制的优点就非常明显了。此

外,增量式模糊控制也适合模糊规则的表达,因为在生活中,人们对一个变量的定性分析甚至定量分析都比较清楚,而往往缺少几个变量综合在一起对系统输出影响的定性分析,定量分析就更难了。它的缺点是需要对各变量解耦。

在 ASAS 系统中,可以考虑的输入量有很多,如 cpu 利用率、内存利用率、磁盘的读写、响应时间、网络流量、系统吞吐率、请求失效率等等,但是重要性不同,如果强调客户实时要求,则响应时间最重要,可以把关于响应时间的控制器放在整个控制器的最底层;而如果考虑系统并发能力,则 cpu 利用率应最先考虑;对于有虚拟内存机制的机器,内存利用率的重要性可以适当推后,因为较大的硬盘空间使得内存的需求问题得到很大的缓解;同时,在网络负载很轻的环境中,系统吞吐率甚至可以不考虑。

把每一个影响系统输出量的变量都设计到控制器中,会提高控制器的精度和性能。但同时会增加控制器的复杂度,需要消耗更多的计算资源,所以不能把控制器设计得太复杂,在 ASAS 系统中,考虑两到三个变量就足够了。比如强调 QoS 的环境中,可以选择响应时间和 cpu 利用率,把响应时间放在底层;而在强调并行能力或吞吐率的环境中,把 cpu 利用率放在最下较好。

这里还可以对增量式模糊控制技术作个扩展,即:  $x$  为  $m$  维输入向量,整个模糊系统被分割为  $n+1$  个子系统,每个子系统的输入为系统输入向量  $x$  的一个子集,如果每个子系统的输入是彼此不相同的单个输入,则  $m = n + 1$ 。这样,最初定义的增量式模糊控制是相对于这里定义的增量式模糊控制的一个特例。

总之,增量式模糊控制器结构清晰,人类知识向模糊规则转变容易,计算复杂度也大大降低。它不仅是 ASAS 模糊控制技术的改进方向,也是所有采用模糊控制技术的应用中可以考虑的改进方向。

### 3.2 自适应模糊控制

模糊控制器的设计不依靠被控对象的模型,但它却非常依靠控制专家和操作人员的经验知识。模糊控制的突出优点是能够比较容易地将人的控制经验融入控制器中,但若缺乏这样的控制经验,很难设计出高水平的模糊控制器。

自适应模糊控制是指具有自使用学习算法的模糊逻辑系统,其学习算法是依靠数据信息来调整模糊逻辑系统的参数。一个自适应模糊控制器可以采用一个单一的自适应模糊系统组成,也可以用若干个自适应模糊系统构成。与传统的自适应控制相比,自适应模糊控制的优越性在于它可以利用操作人员提供的语言性模糊信息,而传统的自适应控制则不能<sup>[5]</sup>。

自适应模糊控制可分为三种类型:1)间接型自适应模糊控制,它通过在线识别获取被控对象模型,再根据所得模型在线设计模糊控制器;2)直接型自适应模糊控制,它根据实际系统性能和理想性能之间的偏差直接调整控制器的参数;3)组合型自适应模糊控制,即它利用了间接和直接两类自适应控制技术。

在 ASAS 系统中,可以采用直接自适应模糊控制技术,对模糊逻辑控制算法的参数(如隶属度函数的参数、规则等)进行调整。

### 3.3 模糊神经网络控制

模糊系统是以模糊集合论、模糊语言变量及模糊逻辑推理的知识为基础,力图在一个较高的层次上对入脑思维的模糊方式进行工程化的模拟。而神经网络则是建立在对人脑结构和功能上的模拟与简化的基础上。由于人脑思维的容错能力源于思维方法上的模糊性以及大脑本身的结构特点,因此两者的综合运用是自动控制领域的一种自然趋势。若将模糊逻辑与神经网络适当地结合起来,吸取两者的长处,则可组成比单纯的神经网络或模糊逻辑性能更好的系统。目前,模糊神经控制已经成为自动控制的热点。

模糊系统与神经网络主要采用以下两种方式进行结合:

- 1)将人工神经网络作为模糊系统中的隶属度函数、模糊规则的描述形式。

- 2)改变传统神经元的运算规则和映射函数,使神经元在功能上表现为各种模糊运算规则,形成模糊神经网络<sup>[6]</sup>。

目前的模糊系统主要分两类:一类是 Madani 型,这种类型的模糊规则后件是输出量的一个模糊集合;另一类是 T-S 型,其模糊规则的后件通常为输入变量的线性组合。将神经网络和 T-S 型的模糊系统结合起来,便形成 T-S 模糊神经网络。T-S 模糊神经网络主要是通过上述的第一种方式结合而成的。由于它取得了很好的性能表现,而且可以通过 MATLAB 较快地开发,因此也可以采用 T-S 模糊神经网络对原有的模糊控制器进行改进。

### 3.4 利用遗传算法进行优化

遗传算法自诞生以来,一直是优化领域的研究重点。它是一种切实可行的、鲁棒性强的优化技术,有很强的计算能力,在模式识别、神经网络、工业控制等多方面取得成功的应用。但是在 ASAS 集群的执行服务器中容量的控制过程,精度要求不是太精细(比如精确制导技术,太空飞行技术),设计一个非常精确的控制器意义不大。过分追求控制器各方面的完美,就需要

(下转第 138 页)

## 5 实验结果与分析

为检验文中提出算法的有效性,所选原始图像是  $512 \times 512$  的 Lena 图像,原始水印是  $32 \times 32$  的图像。实验环境是赛扬 553MHz,内存 512,操作系统 Windows XP, Matlab7.0.1 做的仿真实验。下面给出文中算法实现的水印嵌入和提取以及对其鲁棒性的检验结果,如图 4 所示。

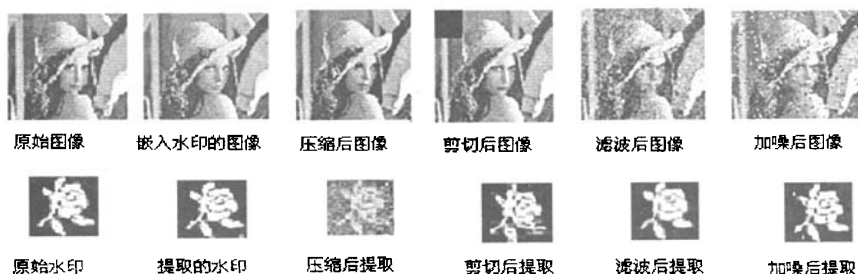


图 4 仿真实验结果

表 1 是经过 SM 值检测得到的,可以看出文中提出的数字水印嵌入算法的可行性,并满足了数字水印系统的透明性和鲁棒性。

表 1 检测结果

检测方法	压缩 30%	剪切 1/16	滤波 2 * 2	噪声 0.5%
NC 值	0.84277	0.9175	0.8767	0.9910

## 6 结论

提出了一种以灰度图像作水印、基于人类视觉特性 HVS 和 DWT 的静态图像数字水印算法,并做了

(上接第 122 页)

消耗较多的执行服务器的资源,可能得不偿失。

另一方面,遗传优化能够和模糊控制及神经网络进行很好的结合,但是采用遗传优化技术所带来的控制性能的提高与服务器资源的额外开销之间的关系还需要通过试验数据来比较。

## 4 小结

在 ASAS 集群环境下,设计了一个模糊逻辑控制器,为了进一步提高模糊控制器的性能,给出了几个优化的重要方向。率先提出了增量式模糊控制的概念,并给出了增量式模糊控制器的设计结构,这不仅在 ASAS 集群中可以应用,在其它能够用模糊控制的环境中都可以考虑采用这种增量式的方法加以改进。

文章还给出了自适应控制改进方案、模糊神经网络控制方案、遗传算法优化方案,这些方案同样适合于

一些改进,从仿真实验中可以看到其可行性,实验结果表明,该算法有一定的抗压缩、噪声、滤波、剪切的能力。在一定程度上能够经受住压缩、滤波、剪切、加噪等处理,创新之处在于把人类视觉特性和频域思想结合起来了,但其对做旋转处理的抗击不够,还有待于进一步提高。

### 参考文献:

- [1] 胡昌华, 张军波. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——小波分析[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [2] 王晓丹, 吴崇明. 基于 MATLAB 的系统分析与设计——图像处理[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [3] 姜明新, 迟学芬. 基于小波多分辨率分解的数字图像水印算法[J]. 吉林大学学报, 2005(2): 110-113.
- [4] Sepsirisuk K. An adaptive digital watermark based on a tree structure using the human visual system[J]. IEEE IN T, 2005, 2: 1062-1065.
- [5] Porter J P. Image adaptive watermarking techniques using models of the human visual system[C]// System Theory. [s. l.]: [s. n.], 2006: 354-357.
- [6] Kunder D. Digital Watermarking Using Multiresolution Wavelet Decomposition[C]// IEEE IN T Conf A SSP 1998. [s. l.]: [s. n.], 1998: 2969-2972.

化学工业、气温控制、洗衣机控制、速度控制等应用环境。

### 参考文献:

- [1] 金士尧. 主动式集群服务器总体设计: 中国, 02114011. 1 [P]. 2004-06-02.
- [2] 王晓川. 主动式集群网络服务器调度机制的研究[D]. 长沙: 国防科技大学计算机学院, 2001.
- [3] 夏明波, 王晓川, 金士尧. 模糊控制及其在 ASAS 执行服务器中的应用[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2006, 18(5): 625-627.
- [4] 夏明波. ASAS 集群及其智能控制策略研究[D]. 长沙: 国防科技大学计算机学院, 2006.
- [5] 刘金琨. 智能控制[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [6] 孙优贤, 褚健. 工业过程控制技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.