

# 模糊神经网络技术的新近发展

张良杰 李衍达

(清华大学自动化系 北京 100084)

**摘 要** 本文从模糊系统与神经网络作为自适应模型无关估计器时智能特性的研究,模糊控制器的神经网络实现技术,改善神经网络学习性能的模糊控制技术,面向对象的模糊神经网络开发平台的研究等方面介绍了模糊神经网络技术的研究现状,并针对目前的模糊逻辑、神经网络、子波变换、遗传算法等的集成化技术进行了探讨,并融入了作者关于定性定量知识有机集成的柔性核理论的基本思想。

**关键词** 智能控制,模糊系统,神经网络,模糊神经网络,柔性核理论

## 1 引言

随着现代科学技术的迅猛发展,人们所面临的问题日益复杂多变,这主要体现在系统缺乏精确的数学模型;具有高维的判定空间、分布式的传感器与驱动装置、高的噪声电平、多种时间尺度和多种性能判据、复杂的信息图、庞大的数据量和精确的性能要求等。传统的控制技术与信息处理技术对这些复杂系统时常无能为力,但有经验的操作者和专家却能对这些复杂的对象进行令人满意的处理与控制。

于是在以算法为核心的传统信息处理与控制理论的基础上,诞生了集启发式知识的获取、处理与利用于一体的新型处理技术——智能信息处理与智能控制。智能信息处理就是指利用某种关于信息的经验和知识,并将上层知识与下层处理相结合的信息处理。它有望解决信息量不足的病态问题,有计算的复杂性与实时性要求的问题,用数学模型难以描述的非线性问题等。其中采用的方法之一便是把经验和知识数字化的模糊化处理与把规则、推理变成神经网络映射处理和直接从数据样本中抽取经验规则的模糊神经网络技术等<sup>[1]</sup>。在控制领域,著名的控制理论权威 Austrom 在其“智能控制的方向”<sup>[4]</sup>一文中指出:模糊逻辑控制、神经网络与专家控制是三种典型的智能控制方法。但目前,基于规则的传统 AI 专家系统亦有逐渐让位于基于模糊逻辑的神经网络专家系统的趋势。所以近来智能信息处理与智能控制的研究则主要集中在模糊系统、神经网络以及二者相结合的模糊神经网络技术方面,特别是模糊神经网络技术及其与各种新发展的新技术如子波变换、遗传算法等相结合的模糊神经网络已成为研究者们倾注的焦点。

鉴于此,我们首先将从模糊系统与神经网络系统作为自适应模型无关估计器的智能特性的研究、模糊控制器的神经网络实现技术及神经网络学习性能改善的模糊神经网络技术等方面加以介绍,然后针对目前的模糊逻辑、神经网络、子波变换、遗传算法等集成化技术进行探讨,并融入了作者关于定性定量知识有机集成的柔性核理论的基本思想。

## 2 模糊逻辑与神经网络协作系统的研究现状

模糊逻辑与神经网络协作系统的研究一直是人们关注的研究领域,这首先体现在模糊系

统与神经网络系统均作为一般自适应模型无关估计器的智能特性研究方面. 因为世界上的任何过程与系统均可用激励与响应的映射来表征, 而所有的智能系统, 包括我们人类自身亦可用一自适应模型无关函数估计特性来概括, 即智能系统自适应地利用数据来估计连续函数, 这当然是指在数学上没有明确描述输出如何取决于输入的情形下而言的.

神经网络系统作为一般的函数估计器, 早已得到了人们的承认, 并被广泛地运用于各种应用领域. 而对于模糊系统作为一种结构型数字估计器, 还是近几年的事. 其中, Kosko 证明了一个加法模糊系统能以任意的精度逼近一个紧致域上的任意连续函数<sup>[2]</sup>; Wang 利用 Stone-Weierstrass 定理证明了具有积推理、中心反模糊化、高斯型隶属函数的模糊系统也能以任意的精度逼近任一闭子集上的实连续函数<sup>[3]</sup>. 既然模糊系统与神经网络系统均具有一般自适应模型无关估计器的作用, 那么它们之间必然存在着许多共性. 实际上, 它们具有相同的正规数学特性, 且共享同一状态空间<sup>[2]</sup>. 正是由于这些理论上的共性, 才使得神经网络能实现模糊逻辑推理, 并在模糊建模中扮演着极其关键的一个角色. 另外, 亦能利用等价的模糊系统来初始化神经网络结构, 从而使得模糊控制器规则的在线调整精度和神经网络的学习速度均能得到较大的提高.

鉴于此, 我们将从模糊控制规则的获取、细化与模糊神经网络的实现技术及改善神经网络学习性能的模糊控制技术等方面加以介绍.

模糊控制器设计的关键就是模糊建模, 然而经典方法却很难有效地辨识规则和细调隶属函数. 对于利用期望的输入/输出数据进行建模, 目前主要有神经网络法、梯度法、复合方法等. 通常完成模糊建模的两个主要步骤是规则抽取与细化. 在此基础上, 只要加上模糊化模块与反模糊化模块就可构成模糊逻辑控制器. 在其中的模糊推理技术方面, 有一种在仔细考察了模糊推理过程实质的快速计算技术<sup>[18]</sup>值得推荐; 对于模糊化方法, 尚未见到特别新的进展; 对于反模糊化方法, Pfluger 等人针对反模糊化中可能出现的矛盾控制命令提出了一种解决方法, 他们认为此时的反模糊化值是最大面积的等分点<sup>[15]</sup>; Bastian 给出了基于重叠面积加权的反模糊化方法<sup>[17]</sup>; Filer 的基于水平集的自适应反模糊化方法<sup>[20]</sup>等. 下面我们将着重介绍模糊控制规则的获取、细化等方面的研究进展.

如何捕捉和描述良好设计所需的启发式知识, 并运用于实际的问题求解之中, 这同样亦是其它工程领域面临的一大难题. 这些启发式知识可由专家提供, 对于专家难以表述的可采用聚类(或矢量量化)的方法从专家的行为特性中获取有用的启发式知识. Bart Kosko 利用矢量量化对积空间进行聚类, 以获得模糊规则<sup>[3]</sup>. 他所提出的模糊联想记忆(FAM)系统实际上是一种基于模糊子集与模糊逻辑的知识信息处理系统. FAM 的目的是捕获在特定领域人类专家的知识, 并以一个模块式的、可扩展的结构表达知识来转移给其它使用者. 他的这种处理思想与处理方法代表了模糊规则获取的主要发展趋势. 可见, 在专家知识无法用语言表达时, 采用无导师的规则聚类算法从经验数据中获取知识是十分必要的, 这就使得研究成功的规则获取算法成为目前模糊神经网络研究的重要方向之一.

在用聚类方法获得或由专家提供启发式知识后, 模糊控制器还需要利用实际的目标系统对所获得的规则进行细化, 即进行有导师的自调整. 这里所给出的训练数据可以是精确数据, 亦可以是模糊数.

在探索模糊系统与神经网络在函数逼近特性相似的基础上, Isaka 通过模拟模糊系统输入/输出空间的集合得到了逼近所用的神经网络系统<sup>[7]</sup>; Kawamura 等人亦利用此思想给出了一

个模糊-神经协作系统的模型<sup>[8]</sup>。他们先用模糊模型构造一粗略的神经网络,然后用目标系统对神经网络进行学习,学习结束后可获得模糊规则的加权系数;Okada 等亦用模糊逻辑初始化多层神经网络<sup>[9]</sup>。显然,这些研究者所处理的基础是多层 FNN 结构,学习算法的核心技术依然是梯度算法或 BP 算法。与此相类似的工作还有:Nomura 等利用下降法从获得的输入输出数据自动推得了表达输入输出数据关系的推理规则<sup>[11]</sup>;Marks I 等给出了一种模糊推理系统中隶属函数自调整的新技术<sup>[12]</sup>,此种技术给出了一种表达 min 和 max 运算的连续可微函数形式,从而可直接放入最速下降反向传播算法的偏导数链中,同时还发现 min 和 max 充当了“指针”的作用,即仅参与 min 和 max 运算的隶属函数被迭代更新。

在考虑模糊逻辑与神经网络作为过程智能控制技术的基础上,利用新近发展的全局搜索算法探索模糊规则的自动获取技术已成为一条可行的研究途径。如 Dumitrache 等人给出了一种基于遗传算法的模糊控制器的细调方法<sup>[10]</sup>,即利用基因算法优化包含控制器性能的代价函数来寻找规则权,从而达到校正模糊控制器的目的;Nagao 利用遗传算法亦训练了一随机神经网络<sup>[19]</sup>。我们在对 GA 的研究时,基于组合理论与概率统计思想,对常规 GA 的交配方式进行了改进,并给出了改进技术的数学模型及其两种实现方案——“环形对分”与“均匀交换”,然后利用模糊推理来确定突变概率,使在搜索的各个时期,突变概率均有最优的选择<sup>[24]</sup>。

实际上,在利用上述技术进行模糊规则的获取与细化之前,应首先考虑的是如何利用神经网络实现模糊逻辑推理。因为在构造模糊神经网络方面,还有许多问题有待于解决<sup>[13]</sup>,如神经网络的模糊输入、不确定信息在网络中的传播、最终结果的理解等。尽管目前有许多研究者对这些问题展开了研究,但至今还没有一个通用的令人满意的解决方法。

近来,在构造模糊神经网络方面,美国的 Werbos 提出了一种融模糊逻辑与 NN 于一体的弹性模糊逻辑技术<sup>[21]</sup>;Lin 等给出了一种基于神经网络的模糊逻辑控制和决策系统<sup>[6]</sup>;Keller 等人亦提出了一种实现模糊逻辑推理的神经网络结构<sup>[14]</sup>,并给出了三种网络的变形。不过它们亦均是多层前馈型神经网络结构,只是在其中融入了不同种类的模糊逻辑运算。但从这些模糊控制器结构的神经网络实现方式可以看出,用 NN 实现模糊控制器的关键是涉及模糊运算(Max-Min 或 Sum-Product 等)及其代价函数所对应的学习算法,这同样亦是研究模糊神经网络控制器的突破口。

另外,传统的神经网络学习算法(特别是 BP 算法)存在着学习周期长,甚至常常陷入局部极小值点的缺陷。为了加快学习速度、改善学习算法的性能,可以对网络的学习性能进行分析,利用获取的适当的启发式知识来控制学习算法。在学习算法中引入模糊控制技术,就能动态地调整网络的学习过程,使传统的静态学习算法动态化。如 Arabshahi 等给出了层状感知器的后向传播算法的模糊逻辑控制技术<sup>[15]</sup>,其中调节学习速率  $\eta$  的启发式知识被融入一简单的模糊控制系统,这里所给的自动细调学习速率参数取决于误差表面的形状,利用这个直接的模糊控制器(误差及误差变化为输入变量,  $\Delta\eta$  为输出变量),可减少学习时间,但此法还是不能保证跳出局部极小值;而 Choi 等人介绍了一种更好的利用启发式知识的模糊逻辑控制器来调整传统神经网络训练中的网络参数,且将注意力集中在 ART1 和 BP 的学习参数的控制中<sup>[16]</sup>,此法是以目标性能特征与实际性能特征之差 error 作为模糊控制器的输入,以控制的参数作为其输出。对于目标性能特征,在 BP 算法中使用的是训练误差最小,在 ART1 中是期望类别数;对于控制量,在 BP 算法中是步长和惯性参量,而在 ART1 中则是警戒线。他们指出此法亦适用于其它网络,如 Kohonen's 自组织映射及其它用参数化方法训练的层状感知器等;我们在对

模糊神经网络学习算法进行研究的同时,提出了一种基于模糊逻辑与组合插值技术的新型一维全局优化算法<sup>[22]</sup>,它为多维优化算法(含许多神经网络算法)快速获取可靠的搜索方向奠定了一定的基础。

从这些模糊逻辑与神经网络协作系统的研究现状可以看出,研究模糊逻辑的神经网络实现,即研究神经网络的模糊输入,不确定信息在网络中的传播,最终结果的理解及提出相应的自学习算法等仍将是继续深入的研究方向。

### 3 面向对象的模糊神经网络开发平台的研究

随着模糊逻辑与神经网络技术研究的不断深入,模糊控制技术的应用越来越广泛.在工业控制与消费电子产品中采用模糊逻辑、神经网络和单片机构成的智能型产品正得到迅速的发展<sup>[26]</sup>.产生这类智能型产品的核心问题是,如何建立模糊逻辑的控制规则和隶属函数.这一工作过去主要依靠人们的经验来建立.建立规则和隶属函数后,还要检查是否符合系统的性能要求.如果不符,则要通过试探的方法对规则和隶属函数逐步进行调整,直到满足系统的性能要求为止.这一工作往往需要很长时间的摸索才能完成.目前尽管已经有一些模糊逻辑的开发工具,但正确的调整仍然不是一件容易的事。

为此,日本、美国、德国等许多家大公司都与模糊逻辑专业公司合作,致力于各种模糊逻辑集成电路(如模糊逻辑处理器、模糊逻辑单片机、模糊加速板等)、模糊逻辑控制器开发工具(含开发软件与硬件开发系统)等的开发与推广工作.其中美国国家半导体公司的新软件 NeuFuz4、日本 NEC 公司的模糊推理软件、Motorola 公司与 Apronix 合作推出的 FIDE(Fuzzy Inference Development Environment)、美国 Inform Software 公司推出的德国 Inform 公司的 Fuzzy TECH 3.0 软件等均是目前正在推广的模糊逻辑开发工具.这些模糊逻辑开发工具的主要作用是帮助开发人员完成模糊控制规则和隶属函数的选取与优化.而这一工作又可以通过两种渠道来完成:一为开发人员与软件交互地进行,即在设计过程中,用户与软件不断地进行数据交换;另一为软件采用某种学习算法,通过对用户提供的初始信息进行训练后得到控制规则和隶属函数.但上述的开发软件均缺乏用于规则自获取学习算法的添加与选择的灵活性。

我们在国家攀登计划认知科学(神经网络)重大关键项目的资助下,尝试开发了在 Windows 环境下的模糊神经网络控制器的自动生成系统<sup>[27]</sup>,亦称为模糊神经网络开发系统(Fuzzy Neural Network Development System;FNNDs),其目的就是为帮助控制器开发设计人员简化模糊控制器的设计过程,此处的开发人员既可以是不熟悉模糊逻辑理论的应用工程师,亦可是熟悉模糊逻辑理论的控制理论专家.另外,本工具可直接运用于 INTEL 公司的微处理器,当然亦可经简单修改后适用于其它大公司的微处理器。

在设计 FNNDs 的过程中,主要借鉴了美国国家半导体公司的新软件 NeuFuz4 的设计思路.但在控制器的设计环节,FNNDs 与 NeuFuz4 有几个很重要的区别:(1) FNNDs 扩大了模糊逻辑控制器的交互式设计性能,即用户可以对模糊逻辑控制器的各个组成部件按照自己的需要和经验进行修改.这便给一些熟知模糊逻辑控制器的开发人员提供了很大的灵活性;(2) FNNDs 对于学习算法的考虑是从管理者的角度着眼的,即它的最终目标是形成一个开放的学习算法库.所谓开放就是用户可以根据自己的经验和知识在算法库中增加任意多个新算法,这将最终使自己的设计经验得到积累和保存.正是这种特性使 FNNDs 可充当研究模糊神经网络理论与方法的仿真平台;(3) FNNDs 是用面向对象的 Borland C++ 3.1 for Windows 开

发的 Windows 应用程序,这种良好的软件界面为 FNNDs 今后的扩展奠定了充分的基础. 目前该工具已在智能空调控制器的开发之中得到了初步的应用<sup>[23]</sup>.

#### 4 模糊神经网络的最新研究趋势

研究模糊系统与神经网络的关系及用神经网络实现模糊逻辑推理(含神经网络的模糊输入、不确定信息在网络中的传播、最终结果的理解)等仍将是今后继续研究的发展趋势. 同时结合子波变换、分形几何等有望构造一些权值易于理解的 NN 模型.

图 1 展示了目前模糊神经网络的研究态势. 其核心仍然是以神经网络的强大自学习能力与具有较强知识表达能力的模糊逻辑推理构成的模糊逻辑神经网络. 利用子波变换(Wavelet Transform)可对输入数据进行预处理,完成采样数据的噪声去除与主特征聚类,将多维数据空间实行压缩,使输入模糊逻辑推理器的模糊输入变量得以精简,从而降低模糊逻辑推理器的复杂度;遗传算法(GA)作为一种随机搜索的全局优化算法,借鉴了生物进化中“适者生存”的思想,它在模糊规则的自动获取与神经网络的学习过程中呈现了强大的生命力. 因而将子波变换、遗传算法与模糊神经网络进行有机结合,可以展现模糊神经网络强大生命力,这种趋势明显地体现于 1994 年在美国召开的国际神经网络大会上. 利用子波分析作模糊推理的后件处理,可选择不同轻重程度的作用规则完成模糊逻辑推理或者是进行信号重构. 我们利用 Stone-Weierstrass 定理证明了三角形隶属函数作前件,利用子波基对输出加权时,采用积推理的模糊神经网络可在紧致域上逼近任意的实连续函数. 即可充当一般的函数逼近器<sup>[28]</sup>.

由于待处理对象要求的精度不同,导致相同采样数据输入时,可能会有不同的解空间形成. 当可选解愈来愈多时,解空间将出现混沌(Chaos)现象. 此时,对这种解空间愈来愈模糊的情形,使用模糊逻辑来描述与求解此解域便是自然而然的事了. 美国海军实验室的斯华林教授在 1994 年 10 月来北京介绍神经网络的研究现状与趋势时,用一片樱花何时同时盛开作例子,形象的描述了 Chaos 与 Fuzzy 的联系. 如果问樱花同时盛开的时间在哪个季节? 肯定的答案将是春季,即此时的解是唯一的;如果问樱花同时盛开的时间在哪个月份? 答案将可能为 1 月、2 月、3 月,即此时的解是有三种选择的;如果问樱花同时盛开的时间在哪个周末? 可能的答案将是三个月中的 12 个周末,即此时的解域具有了 12 个元素;如果问樱花同时盛开的时间在周末的哪个钟点? 可能的答案将是三个月中的 12 个周末的 114 个钟点,即此时的解域具有了 114 个元素;依此类推下去,解域中可能性的解愈来愈多,但解的值域却是有限的,这就是混沌现象. 这种混沌现象的描述与求解的途径之一便是模糊逻辑技术. 实际上,樱花盛开的时间可用

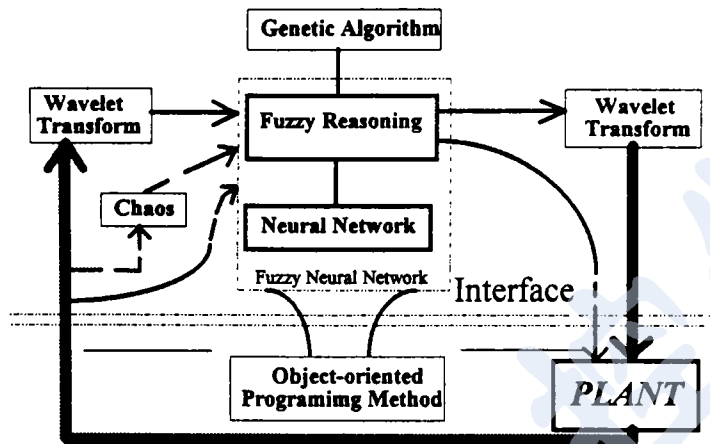


图 1 模糊神经网络的研究态势图

模糊语言变量描述,如答在3月份左右,这就大大减少了描述解集的元素个数,即减少了问题求解的复杂度.对这种貌似不规则却是有序的混沌现象中所呈现出的概念界限的不清晰性采用语言变量加以描述后,可用模糊逻辑来处理这种模糊不确定性.这亦是模糊与混沌建立直接联系的一种方式.图1中给出的面向对象的程序设计技术与方法在系统建模过程中扮演了一个极其重要的角色,因为它不仅提供了把数据和在数据上的操作封装在一起的类、对象和方法的机制,并通过派生、继承、重载和多态性等特性,实现了人们追求已久的软件复用技术,使得软件,特别是大型复杂软件的构造和维护变得更加有效和容易,并使软件的开发能更自然地反映事物的本来面貌.因此,在目前模糊神经网络的研究中,面向对象的程序设计技术与方法为模糊建模奠定了良好的基础.这在作者开发的FNNDs中得到了体现.

我们在对模糊逻辑推理与子波基进行分析的基础上,提出了两种子波型模糊神经网络,一种是由调制的子波基构成前件隶属函数的模糊神经网络,另一种是由子波加权构成模糊后件的模糊神经网络,这两种子波型模糊神经网络的学习能力与广义化特性较常规模糊神经网络有所提高<sup>[25]</sup>.另外,在对模糊神经网络的研究中可引进概率统计特征,并在构造模糊随机神经元及其构成的模糊随机网络方面进行探索,这样便有望利用模糊随机神经网络同时处理事物的两种不确定性(模糊性、随机性).

实际上,模糊神经网络作为具有一定的处理定性定量知识的技术与方法,主要原因还是在于模糊逻辑具有较强的结构性知识表达能力,即描述系统定性知识的能力和神经网络强大的自学习与定量数据的直接处理能力.但它与整个具有多层次处理结构的复杂智能系统难以建立统一的对应关系,导致具体的处理技术和方法与整个系统的智能处理体系脱节.鉴于此,我们给出的能将定性与定量知识的处理方法与处理体系有机集成的柔性核理论(Flexible Core Theory),便是从方法论的角度对智能信息处理系统进行一次有益探索.它的主要思想是以系统的“核”为中心,以柔性处理为手段,通过“核”的柔性扩张来产生诸如模糊逻辑推理的处理方法与分层递阶智能控制的体系结构,从而达到将定性与定量知识的处理方法与处理体系有机集成的目的.

## 5 结束语

本文从模糊系统与神经网络作为自适应模型无关估计器时智能特性的研究,模糊控制器的神经网络实现技术,改善神经网络学习性能的模糊控制技术,面向对象的模糊神经网络开发平台的研究等方面介绍了模糊神经网络技术的研究现状,并针对目前的模糊逻辑、神经网络、子波变换、遗传算法等的集成化技术进行了探讨,并融入了作者关于定性与定量知识有机集成的柔性核理论的基本思想.

## 参 考 文 献

- 1 李衍达.智能信号处理——信号处理的一个重要发展趋势.清华大学自动化系学术报告,1992.
- 2 Kosko B. *Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence*. NJ: Prentice-Hall, 1992.
- 3 Wang Li-Xin. Fuzzy Systems are Universal Approximators. *IEEE Fuzzy'92*, 1992;1163-1170.
- 4 Austrom K J. Directions in Intelligent Control. Plenary Session, IFAC International Symposium, ITAC91 (Intelligent Tuning and Adaptive Control), 1991: 15-17.
- 5 Pfluger N, *et al.* A Defuzzification Strategy for a Fuzzy Logic Controller Employing Prohibitive Information in Command Formulation. *IEEE Fuzzy'92*, 1992;717-722.

- 6 Lin C T, Lee C S G. Neural-Network-based Fuzzy Logic Control and Decision System. *IEEE Trans Comput*, 1989; 1320—1336.
- 7 Isaka S. On Neural Approximation of Fuzzy Systems. *IJCNN'92, Baltimore, 1992*, 1, 263—268.
- 8 Kawamura A, *et al.* A Prototype of Neuro-Fuzzy Cooperation System, *IEEE Fuzzy'92, 1992*; 1275—1282.
- 9 Okada H, *et al.* Initializing Multilayer Neural Networks with Fuzzy Logic, *IJCNN'92, Baltimore, 1992*, 1; 239—244.
- 10 Dumitrache I, *et al.* A Real Time Control Experiment Using a Neural Network Based Linguistical Approach. *IEEE Fuzzy'92, 1992*; 123—127.
- 11 Nomura H, *et al.* Learning Method of Fuzzy Inference Rules by Descent Method. *IEEE Fuzzy'92, 1992*; 203—210.
- 12 Marks R J, *et al.* Steepest Descent Adaption of Min-Max Fuzzy If-Then Rules, *IJCNN—Beijing'92, 1992*, III; 471—477.
- 13 Cohen M E, Hudson D L. Approaches to the Handling of Fuzzy Input DATA in Neural Networks, *IEEE Fuzzy'92, 1992*; 93—100.
- 14 Keller J M, *et al.* Neural Network Implementation of Fuzzy Logic. *Fuzzy Sets and Systems, 1992*; 45; (1)1—12.
- 15 Arabshahi P, *et al.* Fuzzy Control of Backpropagation, *IEEE Fuzzy'92, 1992*; 967—972.
- 16 Choi Jai J, *et al.* Fuzzy Parameter Adaptation in Neural Systems, *IJCNN'92, Baltimore, 1992*; 1; 232—238.
- 17 Bastian A. A Simple Approach to Handle the Nonlinearity of a Fuzzy Controller due to the Max-Min Method. *IJCNN'93, 1993*; 794—797.
- 18 Chen Hung-Pin, *et al.* Toward Fast Reasoning for Fuzzy Logic Inference. *IJCNN'93, 1993*; 697—700.
- 19 Nagao T, *et al.* A Genetic Method for Optimization of Asynchronous Random Neural Networks and its Application to Action Control. *IJCNN'93, 1993*; 1893—1896.
- 20 Filer D P, Ronald R Yager. An Adaptive Approach to Deffuzication Based on Level Sets. *Fuzzy Sets and System, 1993*, (54); 355—360.
- 21 Werbos P J. Neurocontrol and Elastic Fuzzy Logic; Capabilities, Concepts, and Applications, *IEEE Trans on Industrial Electronics, 1993*, 40(2); 170—180.
- 22 张良杰, 李衍达. 基于模糊逻辑与组合插值技术的新型一维全局优化算法. *清华大学学报, 人工智能与模式识别专辑, 1994*(Sup4).
- 23 张良杰, 王普, 李衍达. 基于神经网络与模糊逻辑控制技术的“舒适”智能空调控制器. *制冷学报, 1994*, (3); 54—57.
- 24 Zhang Liangjie, Mao Zhihong, Li Yanda. An Improved Genetic Algorithm Based on Combinative Theory & Fuzzy Reasoning and its Applications. *International Conference on Neural Information Processing, Korea, 1994*.
- 25 Zhang Liangjie, Li Yanda. Wavelet Based Fuzzy Neural Networks. *International Symposium on Artificial Neural Networks, Taiwan, 1994*.
- 26 张良杰, 李衍达. 智能家电产品开发的可行性报告. *清华大学自动化系技术报告, 1993*.
- 27 张良杰, 李衍达. 基于模糊逻辑与神经网络技术的智能控制器自动设计系统的研究. *清华大学自动化系技术报告, 1994*.
- 28 张良杰, 李衍达. 子波后件型模糊神经网络及其通用逼近器理论. *清华大学自动化系技术报告, 1994*.

## THE RESEARCH PROGRESS ON FUZZY NEURAL NETWORK TECHNOLOGY

ZHANG Liangjie LI Yanda

(Dept of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** In this paper, the state of the arts of fuzzy neural network technology is introduced from following points, the research of the characteristics of the fuzzy system and neural network as an estimator unrelated to model, the implementation of fuzzy controller using neural network, the improvement of the learning speed and quality of the neural network by using fuzzy neural network techniques, and the research of the development desktop by using object-oriented programming technique. At the same time, those new combina-

tive technologies including fuzzy logic, neural network, wavelet transform, genetic algorithm, and etc. are given. The new idea called Flexible Core Theory on this subject is involved in this paper.

**Key words** intelligent control, fuzzy system, neural network(NN), fuzzy neural network(FNN), flexible core theory

(张良杰,男,25岁,92级助教博士生,目前主要从事智能信息处理与智能控制方面的理论研究与产品开发工作.)

## 征文通知

### 1995年中国智能自动化学术会议暨智能自动化专业委员会成立大会

CIAC'95

#### 会议主办单位

- 中国自动化学会智能自动化专业委员会
- 中国人工智能学会计算机视觉及智能控制学会
- IEEE 控制系统学会北京分会
- 天津大学

#### 会议地点时间

天津大学 1995年8月28日—31日

#### 会议组织机构

顾问:杨嘉墀 张钟俊 戴汝为 杨叔子 卢强 蒋新松  
 主席:李衍达  
 副主席:张钹 涂序彦 于景元 戴冠中 王珏 何世忠 李光泉  
 秘书长:孙增圻 杜继宏  
 程序委员会主席:涂序彦  
 组织委员会主席:张钹  
 副主席:王先来

#### 征文范围

- 智能自动化系统理论、方法和技术
- 神经网络控制
- 模糊控制
- 基于规则的控制
- 分层递阶智能控制
- 学习控制
- 自适应控制
- 变结构控制
- 机器人规划与控制
- 智能管理与决策
- 智能信息处理
- 智能通讯与网络
- 控制系统的智能设计
- 智能制造
- 故障诊断
- 智能自动化仪表及传感器
- 智能自动化装置与执行机构
- 智能控制的实现及应用
- 大系统及智能自动化
- 遗传算法
- 其它有关问题

#### 论文

- 在国内外杂志或会议上未发表过
- 篇幅一般不超过A4纸6页,具体格式请见所附清稿要求
- 本次会议将评选出1—2篇优秀论文,除颁发获奖证书外,每篇获奖论文奖励人民币1000元

#### 关键日期

- 1995年5月15日之前投送符合清稿要求的全文两份(不论录用与否,恕不退还)
- 1995年6月15日之前发出录用通知

联系人:钱宗华

通信地址:北京清华大学计算机系 100084

电话:2594895,2561144—2266(O) 2594458(H)

传真:2562463