

神经网络模糊逻辑的软硬件技术*

薛家祥 黄石生 余英林

(华南理工大学机电系·广州, 510641)

摘要: 神经网络模糊逻辑代表着人工智能的重要研究方向, 国际上已形成这两项技术应用的开发热潮. 文中介绍了一些典型的神经网络和模糊逻辑芯片及板卡, 并分析了专用和通用开发软件包的功能. 本文旨在促进国内这方面应用水平的提高.

关键词: 神经网络; 模糊逻辑; 芯片及板卡; 软件开发系统

1 引言

神经网络和模糊逻辑已在世界范围内形成研究热潮, 众多学科领域的专家学者纷纷加入到这一研究行列中来, 取得了丰硕的应用成果^[1]. 近年来, 各种神经网络和模糊逻辑芯片、板卡及软件平台如雨后春笋般出现在世界市场上. 同时, 也培育出一批专业公司, 如美国的 Togai Infralogic, Apronix, HyperLogic 公司, 德国的 Inform GmbH 公司等. 而一些从事计算机和电子技术开发的大公司, 也看到神经网络和模糊逻辑的潜在商业价值, 先后参与其研究开发的, 如美国的 IBM, Intel, Motorola, 德国的 Siemens, 日本的 Omron, NEC 等. 在它们所开发的产品中, 有的是专用芯片和软件, 有的则是基于通用单片机的软件开发环境. 我国从事神经网络和模糊逻辑的研究人员, 在数量上占绝对优势, 也取得不少理论和应用成果. 特别是模糊逻辑理论的研究处于世界先进水平, 提出了很多开创性的模糊控制方法. 但是, 从事神经网络和模糊逻辑的软硬件开发人员很少, 目前国内尚未推出神经网络模糊逻辑的商业化产品.

2 神经网络模糊控制理论

进入 80 年代, 神经网络的研究取得了一些突破性的研究成果. 1982 年 J. Hopfield 提出全联接的神经网络结构, 即 Hopfield 网络^[2], 该网络易于用集成电路加以实现. 1986 年以 D. E. Rumelhart 和 J. L. McClelland 为首的 PDP 研究小组全面论述了 BP 网络结构、算法及映射能力^[3]. 1987 年在美国召开第一届国际神经网络会议, 从此神经网络的研究进入高潮阶段.

目前, 已发表很多种神经网络的学习算法, 可分为两大类: 1) 监督学习. 神经元在学习过程中, 有教师信号指出网络性能如何, 或者什么是正确的行为. 2) 非监督学习. 网络的学习自动进行, 找出数据集的特性, 并在输出结果中表示出来. 神经网络的学习算法都与某一类的网络拓扑结构相联系, 神经网络的结构可分为反馈和前馈网络. 因此, 神经网络根据学习算法和拓扑结构可分为表 1 中的四种形式.

美国柏克莱加州大学的 L. A. Zadeh 教授分别于 1965 年, 1968 年, 1973 年发表了模糊集、模糊算法和基于语言变量建立模糊逻辑系统方法等具有开创性的研究论文^[4,5,6], 奠定了模糊逻辑作为一门新学科的理论基础. 后来, 许多学者不断加以完善. T. J. Procky 和 E. H. Mamdani 共同提出自学习概念, 使模糊系统的性能大为改善. M. Braae 和 D. A. Rutherford 系统分析了模糊控制算法. D. Willeys 给出最优模糊控制方法. S. Yasanobuo 等人研究预测模糊控制. K. Hitrota 和 W. Pedrycz 提出随机模糊集理论. J. J. Buckley 等人研究专家模糊控制理论.

* 国家自然科学基金(59575058)和广东省自然科学基金(930067)的资助项目.

本文于 1997 年 7 月 14 日收到, 1998 年 4 月 6 日收到修改稿.

J. B. Kiszka 等人分析了模糊系统的稳定性^[7].

表 1 神经网络的分类

无监督学习		监督学习	
前馈网络	反馈网络	前馈网络	反馈网络
学习矩阵(LM)	自适应共振理论(ART1,2)	感知器	脑中盒(BSB)
线性联想记忆(LAM)	离散、连续 Hopfield	Adaline, Madaline	模糊认知映射(FCM)
最优线性联想记忆(OLAM)	瞬时联想记忆(TAM)	BP	玻尔兹曼机(BM)
模糊联想记忆(FAM)	自适应联想记忆(ABAM)	时延网络(TDNN)	BP 遍历时间(BPTT)
对传网络(CPN)	自组织映射(Kohonen)	Artmap	实时循环学习(RTRL)
稀疏分布联想记忆(SDM)	竞争学习(CL)	扩展卡尔曼滤波(EKF)	循环扩展卡尔曼滤波
	自适应、调度 Grossberg	学习矢量量化(LVQ)	平均域退火(MFA)

美国南加州大学的 B. Kosko 是研究神经网络和模糊逻辑相结合的著名专家,他提出模糊联想记忆、模糊认知图等重要概念^[8]. 普度大学的 C. T. Lin 和 C. S. G. Lee 提出基于神经网络的模糊控制和决策系统^[9],它按照输入模糊化、模糊规则推理和输出解模糊化的顺序构成多层前馈型神经网络结构,模糊逻辑运算融入神经元和网络结构中. W. Pedrycz 构造两种神经元^[10],其一是聚合逻辑神经元,它可进行或、与及与或逻辑运算,从而实现输入信号的聚合;其二是参考逻辑神经元,它首先相对于参考点分析输入信息,包括匹配、包含、差异和支配,分析结果被综合在前一种神经元的聚合部分. J. M. Keller 提出实现模糊逻辑推理的神经网络结构及三种变形^[11],规则知识被直接编码在网络的连接权中,并研究了这种结构的理论特性. R. R. Yager 构造一种按序加权平均的模糊神经元(OWA),它采用矢量 V 来代替通常神经元中的激励函数^[12]. J. Kim 等人用遗传算法(GA)来优化设计模糊前馈神经网络^[13]. J. J. Buckley 研究神经网络、连续函数和模糊系统之间的数值关系,证明了混合神经网络能实现连续模糊函数. 他还将模糊神经网络分为三种类型:1) FNN1 具有实输入信号和模糊权值;2) FNN2 具有模糊集输入信号和实数权值;3) FNN3 则有模糊集输入信号和模糊权值^[14,15].

3 神经网络模糊逻辑硬件

近年来,开发出很多种神经网络和模糊逻辑集成芯片,PC/ISA/VME/PCI 总线板卡,大型的模糊神经计算机也在研制中. 这些新器件又进一步加快神经网络和模糊逻辑技术的应用进程.

3.1 神经网络芯片及板卡

1) IBM ZISC036 (Zero Instruction Set Computer) 数字神经网络芯片. 具有 36 个并行径向基神经元. 每个神经元都是一个独立的处理器,可处理 Radial Basis Function (RBF)和 K-Nearest Neighbor (KNN)算法. 由于它是真正的并行结构,其扩展不受限制,运行速度与神经元数量无关. 有 64 个 8 位输入,输入矢量 V 与每个神经元存储的原型矢量 P 相比较. 14 位神经元输出是两种可选范数的距离值:

$$\text{dist} = \sum \text{abs}(V_i - P_i), \quad i = 1, 64, \quad (1)$$

$$\text{dist} = \max(V_i - P_i), \quad i = 1, 64. \quad (2)$$

芯片具有学习能力,训练矢量可作为原型存储. 矢量学习时间为 2ms,装载时间为 4ms,在 16MHz 的频率下,4ms 可分类 64 个 8 位矢量.

2) Intel 80170NX 模拟神经网络芯片. 具有 64 个输入(0~3V),16 个内部偏值,64 个带有 Sigmoid 传递函数的神经元(增益可控制). 采用 80×64 的权矩阵可实现 64 个输入,64 个隐层神经元,64 个输出神经元的两层神经网络. 芯片上无学习能力,可用软件仿真,权值被装

载到芯片上. 两层网络需 8ms 的传播时间.

3) Siemens MA-16 高速矩阵-矩阵乘法器. 能组合形成输入和输出以集合阵列方式从一个模块传递到另一个模块. 在 50MHz 频率下, 每秒可对 16 个单元(每个单元有 16 个神经元的值)的 4 种模式进行 800 次乘法或累加运算. 权值从外部的 RAM 中装载, 神经元传递函数由片外查表获得. 片上无特定的学习算法, 可编程实现各种算法, 如 BP 等.

4) IBM ZISC/ISA 576 加速器卡. 含有 16 个 ZISC036 芯片, 采用 ISA 总线, 装有 C 语言库, 能够进行训练、回忆等. 一台 PC 机上可配置 5 块卡, 有一为主卡其它为从卡, 通过 ZISC 的扩展并行口进行通信. 随卡发行的 C-API, 可在 DOS/WINDOWS 环境下开发应用软件.

5) Siemens SYNAPSE2 PC/PCI 协处理器卡. 采用 1 片 MA-16 矩阵处理器芯片, 它可作为 PC 机的协处理器, 加速神经网络和矢量矩阵运算集中的算法, 如图象处理等. 软件包括 C++ 库, C++ 图象处理库及图形应用开发包. 主机系统应为 WindowsNT, 并有 3MB RAM, 可编程学习各种神经网络算法. 在 50MB 的主频下, 每秒可执行 12.8 亿次运算.

3.2 模糊逻辑芯片及板卡

1) FC110 数字模糊处理器. 美国加州 Togai Infralogic 公司 1989 年发布的. 芯片每秒可处理 10 万条规则, 输出 6 万个计算结果. 支持 128K 字节的知识库中, 可存放 800 条规则. 其开发软件 FC110DS 中包括集成器、连接器和编译器.

2) VY86C570 高性能模糊协处理器. 带有 12 位模糊计算加速器(FCA), 1993 年由 Togai InfraLogic 公司与 VLSI Technology 公司联合推出, 采用 68 脚工业标准封装. 芯片上集成有 4K×12 观测、结论、寄存数据, 规则库, 共享内存界面和主界面逻辑. 片上 4KB 规则库可存放 200 条规则, 外部可扩展到 64KB 的规则库能存放 1000 条规则, 模糊规则可由主处理器下载到该芯片. 特点为: 低功耗(<250mW), 工作频率 20MHz, 分辨率高(12 位). 每秒可处理 80 万条模糊规则, 可有 1024 个输入和输出. 片上有重心、高度和 α 解模糊化方法, 内建自检能力.

3) AL220 模糊控制器. 美国 Adaptive Logic 公司开发. 利用模糊逻辑完成各种应用的模拟编程, 在硬件上直接完成处理, 省略软件编程. 使系统设计容易, 成本低, 增强了性能和可靠性. 可处理 4 个模拟输入, 以控制模拟输出, 它是可编程的模拟 IC. 片上有 A/D 和 D/A 转换器, 减少了外部计算. 其专有的浮动隶属函数, 可允许微分和积分计算, 不用查表.

此外, 还有 8 位 NLX230 单片机, 片上有 16 个模糊化器, 容许 64 条 16 位规则, 每秒可处理 30 万条模糊规则.

4) SAE81C99 模糊协处理器. Siemens 公司在美国加州的子公司推出的. 最多能处理 256 个输入, 64 个输出和 16384 条规则. 推理采用 Max 和 Bsum 法. 带有 8 位总线数据接口, 在 20MHz 频率下, 每秒可处理 790 万条模糊规则.

5) FP-3000 单片 12 位数字模糊控制器. 日本 OMRON 公司 1990 年推出的. 带有 208 字节的 RAM, 可存放 29 条规则. 允许 5 个输入和 2 个输出. 在 24MHz 的主频下, 输出更新时间为 650 μ s. 模糊推理为 Min-Max 法, 解模糊化可选择重心法或最大隶属度法. 此外, OMRON 公司还推出 FP-5000 模拟模糊控制器等.

6) FB-30AT. OMRON 推出基于 FP-3000 的 PC/AT 模糊推理卡. 开发软件包 FS-10AT 能产生 C 目标代码. 可配置操作参数, 加载编译后的目标代码, 传送启动推理信号, 读取结果数据. 单步模拟并跟踪推理过程, 用屏幕显示推理数据或以记录文件存储.

7) FCD10Sbus 模糊加速器. Togai InfraLogic 公司开发的, 基于两片 FC110. 该卡能使用 Sbus 设备, 具有全程的模糊控制系统能力. 两片 FC110 独立的知识库可得到实时处理. 此外,

还有基于单片 FC110 的 PC/AT 模糊加速器卡 FCA10AT. 基于 4 片 FC110 的 VME 模糊加速器卡 FCA10VME.

8) F100 模糊控制器. 中科院计算技术所等单位联合开发的 ASIC 芯片, 采用 84 脚 LCC 管壳封装. 最大输入和输出个数均为 4, 可支持 8 个知识库, 每个知识库的最大规则数为 508 个. 在 8MHz 的工作频率下, 64 条规则的推理时间小于 $250\mu\text{s}$. 支持 PC/STD 总线和 SRAM, 研制了相应的 PC 卡, 开发软件为 FDS100.

3.3 神经模糊逻辑芯片及板卡

1) AMINAH 神经模糊处理器, 美国 Marcello 公司推出. 片内隐含层和输出层级联起来, 每层有 $N \times M$ 个突触阵列和 M 个神经元组成的矢量. 隐层的 $N=7, M=16$, 输出层的 $N=15, M=8$. 每个神经元可编程选择 Sigmoid 或指数激活函数. 它能实现多层感知器, 径向函数列算法. 可编程实现模糊系统.

2) DANIELA 数字模拟神经模糊卡, Marcello 公司开发的, 可实现增强学习算法, 主机编程界面是在 MATLAB 下实现. 卡上有一片 AMINAH 神经模糊处理器和商用 68HC11 通用处理器. 主存为 $2K \times 8$ 的 EPROM, 含有两个内存块, 每块为 512 字节的突触权 (8 位/权) 和约 500 字节的其它神经网络参数, 每个权矩阵为 1K. DAC800 D/A 变换器将权从 EPROM 写到 AMINAH 中. 卡上有 CPWM 到数字、模拟到数字转换器及功率开关放大器, 可驱动马达.

4 神经网络模糊逻辑开发软件

目前, 已推出大量神经网络和模糊逻辑专用或通用开发系统软件、编译器、单片机汇编代码生成器及教学软件等, 它们为神经网络和模糊逻辑的应用提供了有力工具.

4.1 神经网络软件

1) Neuralworks Professional II/Plus5. 20. 美国 NeuralWare 公司推出的用于神经网络训练、改进和开发的综合工具. 它支持 30 种学习算法, 包括 BP, ART, Kohonen, 循环网络、基因增强学习、径向基函数等. 可运行在 PC, Macintosh, Sun 等机器上. 用户可用 C 代码修剪网络, 减少多余输入, 以图形方式输出相关图、直方图和误差曲线等.

2) MATLAB Neural Network Toolbox. 美国 MathWorks 公司 MATLAB 的工具箱之一. 可用于广泛的神经网络结构, 算法有: BP 及变种, LVQ, 径向基, 循环联想和自组织映射等. 可采用激活函数 Sigmoid, Linear, Limit 及用户自定义函数. 对神经元及连接的数量没有限制, 可构造任何复杂的网络结构, 输入数据灵活. 适于工程环境下神经网络研究、设计和仿真.

3) NeuroSolution V3. 0. 美国 NeuroDimension 公司开发基于窗口图形的神经网络仿真环境. 学习算法有 BP, 循环 BP, BP 遍历时间, Hebbin, Kohonen 等. 能灵活构造多种网络拓扑. 可产生 C++ 源代码, 通过 DLL 定制组件. 加入 MS Excel 可进行直观数据选择, 数据预处理和分析, 批训练和参数优化, 敏感性分析及自动生成报告, 综合的宏语言. 可从任何 OLE 应用软件进入, 如 Visual Basic, MS Excel 等. 运行在 Windows 95/NT 环境下.

4) NeuroGenetic Optimizer V2. 0. 美国 BioComp Systems 公司推出的神经遗传优化软件. 采用遗传算法来优化神经网络的输入和结构. 可预测基于时间的信息, 进行建模、分类和诊断, 如金融市场、过程故障等. 可与 Excel 集成进行有关数据处理, 输出均方差、均方根差等 5 种误差报告. 是 32 位的软件, 可运行在 Windows 95/NT 中, 支持动态连接库 DLL.

5) OWL Neural Network Library. 美国 HyperLogic 公司提供的一组通用开发 C 或 C++ 软件的编程库. 包括创建、删除、保存、训练、运行、存储神经元状态及权值、打印完整的神经网络状态报告等函数. 库中有 20 种神经网络, 如 BP, Hopfield, 双向联想记忆、模糊联想记忆、

波尔兹曼机等,支持 Borland 和 MS C 的 Windows 开发环境。

4.2 模糊逻辑软件

1) TIL Shell 3.0. 由 Togai InfraLogic 公司推出的基于窗口的软件开发工具,提供设计、调试和检验模糊专家系统的方法,内嵌控制系统。特点如下:1° 实时在线调试和调整模糊规则、隶属函数和规则权,可加入和删除规则。2° 具有强大的基于图形对象的计算机辅助软件工程工具。3° 用户可定义推理方法。4° 规则库和算法的 3 维彩色可视化环境。5° 模糊系统和常用方法的完全集成化图形仿真。6° 可由 Fuzzy-C 编译器接口产生 ANSI C 和 K&R C 代码,可与该公司的 Fuzzy-C, MicroFPL 和 FC110 开发系统接口。

2) FIDE2.0. 美国 Apronix 公司研制的模糊推理开发环境。它基于 MS Windows,有以下特点:1° 采用真值流推理法,比 Mamdani 法快 100 倍。2° 隶属函数编辑器提供图形和文本编辑功能,支持三角形、多边形和任意曲线的隶属函数。3° 规则编辑器采用简单有效的宏规则和规则库矩阵方法,来写规则代码及建立模糊规则库。4° 调试环境可仿真各公司专用芯片的特性。5° 调试工具包括跟踪器、分析器和仿真器。其中跟踪器可孤立部分输入输出关系,模糊推理单元传递函数,并快速回溯跟踪原文件的规则说明。分析器有几种模糊单元传递函数的图形表示,能自动跟踪从图形表示上的某一点到其原文本说明,可彩色显示传递函数的横截面、轮廓和控制表面。仿真器可表示时间域内的模糊推理单元,绘制输入输出变化曲线,比较收敛性及相位关系。6° 波形分析器可产生系统仿真的各种波形,包括阻尼正弦、指数函数、随机噪声等。7° 可产生 Java, ANSI C, MATLAB 的 m 文件及 Motorola 单片机 MC6805, MC68HC05, MC68HC33 等及 OMRON 的 FP-3000 专用模糊控制器的汇编代码。8° 解模糊化方法有重心法、左取大、右取大、取大平均法。FIDE 可用于电机、航天飞机导航等工业控制中。

3) Fuzzy TECH 4.2. 德国 INFORM GmbH 公司 1996 年推出的新版基于图形的模糊开发系统。它由 FuzzyTECH Editions, FuzzyTECH for Business, NeuroFuzzy & FuzzyCluster Mod, BlockSimulation Module, DataAnalyzer Module 及 NeuroModel Module 组成。特点为:1° 以模糊技术语言(FTL)为基础,FTL 是与硬件无关的模糊逻辑系统描述语言,提供与其它开发工具的开放界面,它可与 MS-Excel, MS-Access 及 MS-Visual Basic 接口。2° 内建 M 代码生成器可产生模糊逻辑块,以用于 VisSim 和 MATLAB/SIMULINK 的控制系统仿真。还可产生 C, DLL, EXE 和汇编代码。3° 多图形分析器和跟踪器可以检验系统,在线修正运行系统。4° 模糊逻辑系统单元和全部设计过程都在图形编辑器中进行。5° 支持 Min-Max, Avg-Max, Gamma 三种模糊算子。还支持模糊联想映射(FAM),可精调模糊逻辑系统。6° 神经模糊模块可自动产生和优化全部或部分模糊逻辑系统。7° 数据分析器集成了常用的信号处理和数据分析方法。8° 支持 16 位和 32 位软件,支持硬件包括: Intel 单片机和 Siemens 可编程逻辑控制器。9° 在 486SX-PC/33MHz 微机上,0.4ms 内可计算 8 输入 4 输出模糊逻辑系统,10° 支持 PLC, VME 及过程控制系统。还可用于商业及金融等领域。最近 INFORM 公司又发布 FuzzyTECH 5.0,它是完全 32 位的软件,可运行于 MS-Windows95/NT4.0。

4) SieFuzzy V2.1. 德国 Siemens 公司推出的模糊逻辑系统开发工具。它可检验、仿真、在线试验模糊系统,并将结果编译成任何形式的 C 代码。它由几个编辑器组成:1° 变量/隶属函数编辑器可存储变量类型、最大最小值及模糊或清晰表示。采用图形来完成模糊逻辑知识库、变量隶属函数和规则的编辑。建立模糊变量的映射大小及类型,输出变量的推理/解模糊化方法。编辑隶属函数,在仿真或调试中观察隶属函数的隶属度值。2° 规则库编辑器有规则库表和规则矩阵两种编辑方式。可用来增加或删除规则库中的规则,改变规则的权,在调试中观察规

则的行为。3° 采用模糊编程语言(FPL)设计实现模糊逻辑知识库,可作为 DDE 服务器,很方便地与 MATLAB/SIMULINK 实现接口。同 MATLAB 的优化工具库一起,可将任何模糊系统转换成 m 文件,并优化隶属函数和规则权的参数。

5) MATLAB Fuzzy Logic Toolbox. 是 MathWorks 公司 MATLAB 的工具箱之一。它含有模糊推理系统、隶属函数和规则 3 个编辑器并有输出表面和模糊推理 2 个观察器,可交互观察模糊输出表面和推理过程。含有自适应神经模糊推理系统,模糊分类用 Mamdani 和 Sugeno 推理法。用 SIMULINK 进行交互式仿真,可生成 ANSI C 代码。

4.3 神经模糊逻辑软件

1) NeuFuz4. 美国 National Semiconductor 公司推出的 COP8 和 HPC 单片机神经模糊逻辑开发工具。可用于工业自动化领域中的低端控制。它利用 BP 网络来初选模糊规则和隶属函数,用训练数据和 BP 网络可实现模糊联想记忆。处理过程如下:1° 输入和生成供 BP 网络训练用的数据。2° BP 网络进行自学习,验证和简化 BP 网络自学习后的模糊规则,编辑 BP 网络自学习后的隶属函数。3° 生成模糊逻辑代码,并装入单片机 COP8。NeuFuz4 可有 4 个输入 1 个输出,1200 个训练模式,7 个隶属函数,最多可允许 49 条模糊规则。

2) TILGen. 是 Togai Infralogic 公司开发的神经模糊系统抽取器。能从给定的系统输入和要求的输出集自动产生模糊专家系统规则库。它由两个过程组成:神经网络学习由输入输出数据集描述的输入输出函数,将神经网络学习解码生成模糊专家系统的规则;在学习过程中,首先用前几个检验矢量初始化神经网络的几个神经元,其余的矢量与几个神经元比较,找出与输入矢量最匹配的神经元,这些神经元称为获胜神经元。它们可按照以下 3 种学习方法来更新:1° 无监督竞争学习(UCL),增加激活水平来奖励获胜神经元。2° 监督竞争学习(SCL),增加激活水平奖励获胜神经元,减少激活水平惩罚失败神经元。3° 微分竞争学习(DCL),奖励最近邻的获胜神经元,惩罚其它获胜的神经元。TILGen 可在 TILShell13.0 中运行。

3) NeuFrame3. 美国 Neural Computer Sciences 公司推出的可视化面向对象的智能技术开发环境。包括 BP, Kohonen, RBF 及神经模糊网络。可生成 C, C++ 和 Java 代码,运行在 Windows95/NT。NeuroFuzzy 是 NeuFrame3 的可选模块,它具有以下特点:1° 兼备基于规则的模糊逻辑和神经网络从经验学习的优点。2° 自动生成优化的神经模糊模块。3° 在模块内封装专家模糊知识。4° 按照提供给神经网络的数据可修正或创建模糊模块。5° 含有纯粹的模糊逻辑编辑器。

4) DataEngine. 是德国 Management of Intelligent Technologies (MIT) GmbH 公司推出的图形宏语言开发软件。采用模糊逻辑、神经网络和统计方法实现模糊规则系统、模糊分类和神经模糊系统。采用模糊 Kohonen 网络、监督学习的 BP 网络和无监督学习的 Kohonen 网络。模糊规则库系统模块包括各种推理技术和解模糊化策略。能够实现控制技术、医学诊断、管理决策、计算机视觉等。可在 MS Windows3.1/95/NT 环境下运行。

5 结 论

神经网络和模糊逻辑的应用技术正迅速发展,它们代表着人工智能的主要研究方向。神经模糊逻辑技术的应用途径有:1) 专用的神经网络和模糊逻辑芯片及开发工具。2) 基于通用单片机的汇编代码开发软件。3) 基于 PC 微机的神经模糊逻辑开发平台。4) 研制高速大规模的神经模糊计算机。神经网络和模糊逻辑的融合已成为重要研究领域,所开发的硬件具有独特的优越性。目前日本、美国、德国等国家已注意到神经网络和模糊逻辑的潜在商业价值,他们在应用开发上展开激烈的竞争。而我国虽在理论方面形成研究热潮,但应用水平还较低。希望国内

的工程技术人员结合自己的工作实践,进行神经网络和模糊逻辑技术应用研究,以促进我国这方面技术水平的提高。

参 考 文 献

- 1 Astrom, K. J.. Direction in intelligent control. IFAC Intelligent Tuning and Adaptive Control, Singapore, 1991, 1-9
- 2 Hopfield, J. J.. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proceeding of the National Academy of Science of the USA, USA, 1982, 79: 2554-2558
- 3 Rumelhart, D. E., Hinton, G. E. and Williams, R. J.. Learning representations by back-propagating errors. Nature, 1986, 323(9): 553-536
- 4 Zadeh, L. A.. Fuzzy sets. Information and Control, 1965, 8(3): 338-353
- 5 Zadeh, L. A.. Fuzzy algorithms. Information and Control, 1968, 12(2): 94-102
- 6 Zadeh, L. A.. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Trans. Syst. Man and Cybern., 1973, 3(1): 28-44
- 7 Lee, C. C.. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller——part I, part II. IEEE Trans. Syst. Man and Cybern., 1990, 20(2): 404-435
- 8 Kosko, B.. Neural Networks and Fuzzy System: A Dynamical Systems Approach to Machine Intelligence. NJ: Prentice-Hall, 1992, 299-338
- 9 Lin, C. T. and Lee, C. S. G.. Neural-network-based fuzzy logic control and decision system. IEEE Trans. Computer, 1991, 40(12): 1320-1336
- 10 Pedrycz, W.. Fuzzy neural networks and neurocomputations. Fuzzy Sets and Systems, 1993, 56(1): 1-28
- 11 Keller, J. M., Yager, R. R. and Tahani, H.. Neural network implementation of fuzzy logic. Fuzzy Sets and Systems, 1992, 45(1): 1-12
- 12 Yager, R. R.. OWA neurons: A new class of fuzzy neurons. International Joint Conference on Neural Networks, Baltimore, 1992, 1: 226-230
- 13 Kim, J., Moon, Y. and Zeigler, B. P.. Designing fuzzy net controllers using genetic algorithms. IEEE Control Systems, 1995, 15(3): 66-72
- 14 Buckley, J. J. and Hayashi, Y.. Numerical relationships between neural networks, continuous functions, and fuzzy systems. Fuzzy Sets and Systems, 1993, 60(1): 1-8
- 15 Buckley, J. J. and Hayashi, Y.. Fuzzy neural networks: a survey. Fuzzy Sets and Systems, 1994, 66(1): 1-13

The Software and Hardware Techniques on Neural Networks and Fuzzy Logic

XUE Jiexiang, HUANG Shisheng and YU Yinglin

(Department of Mechatronic Engineering, South China University of Technology • Guangzhou, 510641, PRC)

Abstract: Neural networks and fuzzy logic are important research directions in intelligent control. A great of application and technique achievements have been made in these fields. This paper outlines the functions of some typical chips, boards and software systems on neural network and fuzzy logic. Author aims at promoting domestic application and development on these aspects.

Key words: neural networks; fuzzy logic; chips and boards; developing software systems

本文作者简介

薛家祥 1962年生. 1995年获华南理工大学博士学位. 主要研究方向为电力电子, 神经网络及模糊逻辑应用技术.

黄石生 1938年生. 华南理工大学教授, 博士生导师. 主要从事电弧焊电源及设备, 焊接过程智能控制的研究与教学工作, 在国内外学术刊物上发表70多篇论文.

余英林 见本刊1998年第2期第311页.