

基于 FANNC 的模糊逻辑系统^{*}

A Fuzzy Logic System Based on FANNC

刘 峻 邵 栋 陈兆乾

(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京210093)

Abstract A fuzzy logic system based on FANNC is proposed. The system takes FANNC as fuzzy rule base and fuzzy inference engine to deal with expert knowledge and data by uniform method. Our method can be used in many applications and has the self-adaptive and on-line learning capability.

Keywords Fuzzy logic system, Neural Network, FANNC

1 引言

为了用数学方法描述和处理自然界出现的不精确、不完整的信息,如人类语言描述信息,L. A. Zadeh 于1965年发表了“Fuzzy Set”^[1]的论文,提出了模糊理论。模糊理论建立在模糊集合和模糊逻辑的基础上,引入隶属函数(membership function)的概念来描述那些介于“属于”和“不属于”的中间过渡过程。模糊理论已经广泛地应用于控制领域,同时结合其他技术,如神经网络、遗传算法等,形成交叉学科,用于解决单一技术不能解决的问题^[2]。

神经网络是由大量的简单处理单元所构成的非线性动力系统,具有自学习能力和泛化能力。当问题为多输入多输出,对应的数学模型非常复杂或根本就不存在时,神经网络则易于求解,只需根据输入输出训练例就可以建立起精确的映射关系,并不需要精确的数学模型,是解决复杂的高度非线性问题的一个有效途径。

对于大多数工程应用来说,其重要的信息来源有两种:提供系统性能描述的专家及提供测量数据的传感器。来自专家的信息通常为语言信息,常用文字表示(如‘大’,‘很小’等)这类信息一般不太精确,但使用比较方便,用其进行交流也通俗易懂。事实上,大多数人的经验是以模糊规则的形式存储在记忆里,而且几乎在所有的日常推理中,人们都无意地使用这些规则。来自传感器的信息为数据信息,常用数字表示(如‘0.5’,‘3.25’等),数据信息是一种精确的信息,一般符合一定的物理、数学定律,而专家的语言信息大多不具备这种精确性。如何构造一个系统可以统一、充分地利用这两种信息是设计应用时需充分考虑的。Wang 在这个研究领域作出了一些成果^[3]。

本文以 FANNC 神经网络为核心构造了一个自适应模糊系统,它可以统一地使用语言信息和数据信息,同时具有在线增量学习能力和良好的泛化能力。

2 模糊逻辑系统

一个模糊逻辑系统如图1所示,包括四个部分:模糊规则库、模糊推理机、模糊产生器、模糊消除器。模糊规则由专家提供或从数据中抽取,表示为 IF-THEN 规则的集合,IF-THEN 规则可表示为:

$R': IF x_1 \text{ is } F_1' \text{ and } x_2 \text{ is } F_2' \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } F_n' \text{ THEN } y \text{ is } G'$

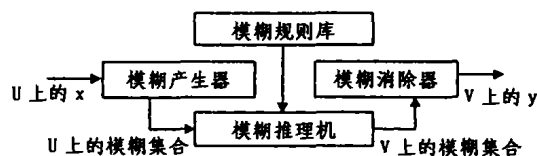


图1 具有模糊产生器和模糊消除器的模糊逻辑系统基本框图

其中 F_l' 和 G' 是模糊集, $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in U, y \in V$ 分别为输入输出语言变量, $l=1, 2, \dots, M$ 。模糊产生器将 U 上确定的点一一映射为 U 上的模糊集合。模糊消除器将 V 上的模糊集合一一映射为 V 上确定的点。本文的工作建立在图1所示模糊逻辑系统之上。

对于复杂系统,知识的积累和控制规律的建立是非常困难的。另外,随着系统输入输出数量的增多,所需的控制规则会成倍增加,这些将给设计人员带来时间和精力上的负担。神经网络是解决这一问题的有效方法。

3 FANNC 神经网络

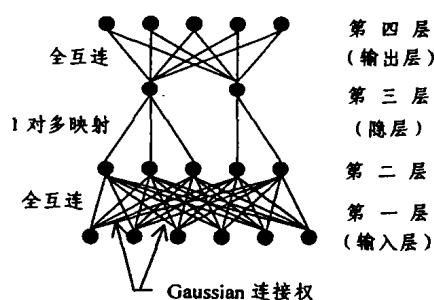


图2 FANNC 网络拓扑结构

FANNC(Fast Adaptive Neural Network Classifier)^[4]神经网络学习算法是我们提出的基于 ART^[5]理论和域理论^[6]的有导师神经网络学习算法。FANNC 算法针对分类问题进行设计采用了不同于其他算法的冲突解决和动态扩大分类区域方法,是一个快速自适应神经网络分类算法,具有很强的泛

^{*} 本文工作得到国家自然科学基金(项目编号69875006, A)与江苏省自然科学基金(项目编号 BK99036)的资助。刘 峻 博士生,主要从事神经网络、模糊系统、数据库等方面的研究工作。

化能力,且能进行快速增量式学习。FANNC 拓扑结构如图2所示,其输入层与第二层之间通过 Gaussian 连接权全互连,隐层神经元采用 Sigmoid 响应函数,该算法用第二层神经元对输入进行分类,用第三层神经元对输出进行分类。该算法已应用于情报软件故障诊断任务中,取得了很好的效果^[7]。

4 基于 FANNC 神经网络的自适应模糊逻辑系统

4.1 系统结构

为了在一个模糊系统中同时利用专家的知识 and 数据信息,并使其具有自适应性,我们将一般的模糊逻辑系统和 FANNC 神经网络相结合设计了一种新的模糊神经网络。系统组成如图3所示。模糊产生器将模糊规则中的语言变量和数据映射为模糊集的隶属度值,便于神经网络统一处理这两种信息。



图3 基于 FANNC 神经网络的自适应模糊逻辑系统

一般的模糊逻辑系统使用专家知识或从数据中抽取出的规则建立模糊规则库,并没有统一的方法建立推理机,需要工程人员根据具体问题确定。当问题输入输出数目很多,或需要修改时,导致很大的工作量。由于神经网络可以模拟复杂的多维输入输出非线性映射关系,且不需要具备特定问题的数学模型,因此本文使用 FANNC 神经网络作为通用的模糊规则库和模糊推理机,系统在训练时从规则和数据中提取信息,存储在神经网络中,由于 FANNC 的记忆与联想功能,当使用时 FANNC 便可以给出正确的结果。选用 FANNC 神经网络作为系统的核心,是因为该网络的许多优点给系统带来许多优势:如网络的通用性加快了系统的设计速度;网络在线增量学习能力使本系统可以在使用中增加新的知识,适应新的需要。

4.2 系统算法

(1)模糊产生器 设有属性 $F_1, F_2, \dots, F_n$, 每个属性(即一个论域)中可以定义多个模糊集 F_i^j , 结果论域同样可以定义多个模糊集 G^m , 每个模糊集有自己的隶属度函数,可以根据实际情况选用。转换后的数据可以定义为:

$$D = (P_1^1, P_1^2, \dots, P_1^k; P_2^1, P_2^2, \dots, P_2^k; \dots; P_n^1, P_n^2, \dots, P_n^k; Q^1, Q^2, \dots, Q^{k+1})$$

其中 $P_i^j (0 < j < k)$ 对应于属性 F_i 的第 j 个模糊集的隶属度, $Q^m (0 < m < k+1)$ 对应于结果 Q 的第 m 个模糊集的隶属度。

1) IF-THEN 规则。设有规则:

$$R^j: \text{IF } x_1 \text{ is } F_1^j \text{ and } x_2 \text{ is } F_2^j \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } F_n^j \text{ THEN } y \text{ is } G^j$$

若语言变量 $F_i^j = P_i^j$, 则对应数据 D 中 P_i^j 隶属度为1, 本论域其他模糊集隶属度为0; 若 $G^j = Q^m$, 则对应数据 D 中 Q^m 隶属度为1, 本论域其他模糊集隶属度为0。

2) 数据信息。数据 $(d_1, d_2, \dots, d_n; r)$, 对每一属性和结果根据其隶属度函数计算相应模糊集的隶属度, 将其作为转换后的数据。

(2) FANNC 神经网络 完成数据转换后, 由 FANNC 神经网络处理数据, 根据使用方式可以分为三种情况:

1) 成批送入数据训练。在开始构建系统时可以采用此种方法, 根据已有的专家知识和数据信息, 使用 FANNC 进行一次学习后便形成了一个可用的模糊逻辑系统。

2) 送入数据进行增量学习。为了允许系统增加新的知识, 在使用过程中可以随时将系统转换为增量学习模式。由于 FANNC 神经网络较好地解决了神经网络的稳定性与可塑性问题, 不需要放弃原有的知识, 且训练速度很快, 因此此过程可以实时进行。这一特性为实际应用带来很多方便, 避免了在系统使用前必须准备好所有数据的问题, 同时在实际应用中可以适应每个不同用户的需求, 学习用户不同的习惯, 具有个性化的功能。

3) 使用。输入所需数据, 则 FANNC 输出一分类信息指导。

5 试验测试

现以室温控制问题^[8]为例说明基于 FANNC 神经网络的自适应模糊系统的工作原理。室温控制问题可以描述如下:

根据当前室内温度 T 和温度的变化 dT 的测量, 控制器给出温度调节档的选择, 调节室温, 使室温保持恒定适中。在室温控制中对温度的控制有如下的描述:

室温 $T = \{BLT: \text{很低}; SLT: \text{较低}; MT: \text{适中}; SHT: \text{较高}; BHT: \text{很高}\}$;

室温变化 $dT = \{BLDT: \text{快速下降}; SLDT: \text{微量下降}; ZDT: \text{不变}; SHDT: \text{微量升高}; BHDT: \text{快速升高}\}$;

温控调节档 $du = \{BLDU: \text{快速降温}; SLDU: \text{适度降温}; ZDU: \text{不加热, 不降温}; SHDU: \text{适度加热}; BHDU: \text{快速加热}\}$;

设现有如下规则:

如果室温较低, 室温还在微量降低, 则全力加热;
如果室温很低, 室温还在微量降低, 则全力加热;
如果室温较低, 室温不再变化, 则适度加热;
如果室温适中, 室温不再变化, 则不加热, 不降温;
如果室温较高, 室温不再变化, 则微量降温;
如果室温较高, 室温还在微量上升, 则快速降温;
如果室温较高, 室温还在快速上升, 则快速降温;
如果室温很高, 室温保持不变, 则快速降温;

有以下数据: 室温 35°C , 降温 8°C , 则微量降温; 室温 16°C , 降温 2°C , 则适度升温; 室温 3°C , 温度变化 0°C , 则快速降温;

各属性的隶属度函数有多种选择方法, 我们选用较为简单的三角形函数。如图4、图5所示。

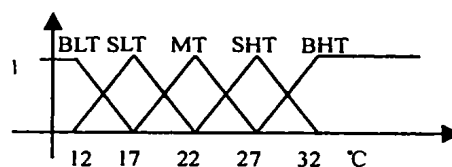


图4 室温 T 隶属度

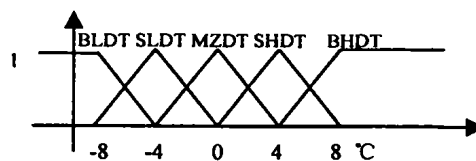


图5 室温变化量 DT 隶属度

系统使用过程如下:

首先将以上规则送入模糊产生器进行处理, 按照系统转换规则, 经过模糊产生器处理后得到如图6所示的模糊规则和数据。

然后将这些数据送入 FANNC 神经网络训练, 训练完成后系统即建成, 可供使用。

使用以下数据进行测试: 室温 31°C , 温度变化 -9°C , 则微量降温; 室温 3°C , 温度变化 0°C , 则快速降温; 室温 25°C , 温度变化 -8°C , 则不加热, 不降温。

模糊规则:

0.1,0.0,0.0,1.0,0.0;	0.0,0.1,0.0,0.1,0.0;
0.0,0.0,1;	0.1,0.0,0;
1.0,0.0,0.0,1.0,0.0;	0.0,0.1,0.0,0.0,1.0;
0.0,0.0,1;	1.0,0.0,0;
0.1,0.0,0.0,0.1,0.0;	0.0,0.1,0.0,0.0,0.1;
0.0,0.1,0;	1.0,0.0,0;
0.0,1.0,0.0,0.1,0.0;	0.0,0.0,1.0,0.1,0.0;
0.0,1.0,0;	1.0,0.0,0;

图6

数据:

0.0,0.0,1.1,0.0,0.0;	0.0,0.1,0;
0.1,0.0,0;	1.0,0.0,0.0,0.1,0.0;
0.2,0.8,0.0,0.0,0.5,0.5,0.0;	0.0,0.0,1;

转换后数据为:0.0,0.0,2.0,8.1,0.0,0.0;1.0,0.0,0.0,0.1,0.0;0.0,0.4,0.6,1.0,0.0,0.0.

当只使用规则对 FANNC 进行训练后,获得结果为:快速降温;(错误,因为没有充分利用数据信息);快速升温;(正确);快速降温;(错误,系统未提供此知识)。

因为仅使用了规则信息,而没有充分利用数据信息,第一个例子出现错误。在使用数据训练后,解决了此问题。

当使用规则和数据对神经网络进行训练后,使用结果为:微量降温;(正确);快速降温;(正确);快速降温;(错误,系统

未提供此知识)。

第三个例子结果有错,这是因为 FANNC 事先并没有学到这个知识,将此例子作为训练例送入系统进行增量学习,再使用这三个例子进行训练,结果均正确。由此可见,本系统具有增量学习能力。当然我们在设计系统时,应该尽可能地在系统初始阶段提供足够的信息,构造一个完备的系统。

结束语 本文提出一种基于 FANNC 神经网络的自适应模糊逻辑系统。该系统用一致的方法处理专家知识和数据信息,使用 FANNC 神经网络存储知识,进行推理,从而使该系统具有通用性,自适应性和在线增量学习能力。由于本方法不针对某特定使用领域,因此作为一种通用的方法可以大大减轻工程人员设计模糊系统的工作难度。

参考文献

- 1 Zadeh L A. Fuzzy sets. Information and Control, 1965, 8: 338~353
- 2 邵栋,周志华,陈兆乾. 模糊神经网络研究. 计算机应用研究, 1999, 16(7): 1~2
- 3 Wang L-X. Adaptive Fuzzy Systems and Control. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1994
- 4 Zhou Zhihua, Chen Shifu, Chen Zhaoqian. FANNC: A fast adaptive neural network classifier. Knowledge and Information Systems, 2000, 2(1): 115~129
- 5 周志华,陈兆乾,陈世福. 自适应谐振理论综述. 计算机科学, 1999, 26(4): 54~56
- 6 Wasserman P D. Advanced Methods in Neural Computing. New York: Van Nostrand Reinhold, 1993
- 7 周志华,陈兆乾,邵栋,陈世福. 快速自适应分类器 FTART2 的设计与应用. 模式识别与人工智能, 1999, 12(3): 268~274
- 8 王磊,王为民. 模糊控制理论及应用. 国防工业出版社, 1997

(上接第46页)

对计算模型有一些基本认识的基础上,通过对抽象计算模型与现代电子数字计算机之间的联系,计算机内部组织结构和工作原理的介绍,使学生掌握计算机的工作原理,初步具备分析、设计计算机基本部件的能力。教学的重点不在于让学生从书本上理解具体内容,而是要强调在掌握“计算机组成原理”基本概念、基本原理和基本部件的基础上,每一个学生都能理论联系实际,动手解决一些实际的分析与设计问题。教学计划内将在计算机科学实验课程中安排与“计算机组成原理”课程有关的实验单元与课堂讲授的内容相呼应。

现代电子数字计算机原理将是本课程教学的内容。现代电子数字计算机是由一些逻辑电路和数字系统组合而成。存储器、控制器、运算器、输入和输出是本课程的重点,教学中这些内容将围绕指令系统的实现而展开。在前驱课程“数字逻辑”课程的基础上,计算机组成原理中各部分的结构和原理将采用 VHDL 语言来描述。现代电子计算机的设计受到各种计算问题特点和软件开发的影响,接口和多功能部件的重要性随之突出,而且,指令系统的日渐庞大促进了精简指令系统计算机技术(RISC)的发展,这些内容都应该向学生讲授。此外,课程的教材还应该以当前先进的计算机系统作为宿主机,阐述计算机设计的一些认识基础和实例分析作为学生课外阅读材料。

介绍计算机组织结构和原理,可以采用先局部后整体的“自底向上”的方式,也可以采用先整体后逐步细化各部分内容的“自顶向下”的方式。由于 VHDL 语言的引入,我们建议采用“自顶向下”方式由浅入深地逐步细化整个计算机硬件系统,这样学生比较容易掌握。

本书的内容还应该适当介绍与计算机体系结构有关的一些发展前景的内容,为未来学生学习计算机体系结构课程埋

下伏笔。

(本报告未完,其它课程的内容待续)

致读者:2001年3月,中国科学出版集团·北京希望电子出版社和国防工业出版社联合聘请杨芙清、夏培肃、陆汝钤(三院士作为顾问)等一批学者组建了《现代计算机科学与技术教材系列》编审委员会,基于13-22项目组教育与教学改革获奖成果:计算机科学与技术一级学科人才培养科学理论体系(框架),按照学科系列教材系统研究报告和一体化设计方案要点,动员和组织国内外一批在第一线从事科学研究,学有所成的科学家创作高起点的教材,参与国际竞争。本文即是这项工作的阶段性成果。目前,我们已经初步确定了第一批基础和专业知识课程教材的作者和学术编审人人选,其它课程和研究生课程尚未确定作者等人选,我们热忱欢迎国内具有较高研究水准的学术同行关心、支持和加入到这项工作中来,欢迎与我们联系。

参考文献

- 1 Zhao Zhizhuo. The Education of Computer Science and Technology in University(2nd Ed.), Science Press, Beijing, 1998
- 2 Zhao Zhizhuo. The Education of Computer Science and Technology in University. Science Press, Beijing, 2000
- 3 赵致琢. 关于计算机科学与技术认知问题的研究简报(1, I). 计算机研究与发展, 2001, 38(1): 1~15
- 4 Cross I J H, Denning P J, et al. Composition of the Curriculum 2001 Joint Task Force. Published in electronic file on the internet, 2000. 1~54
- 5 Lee E A, Messerschmitt D G. Engineering and Education for the Future. IEEE Computer, 1998(Jan.): 77~85
- 6 Bernal J D. The Social Function of Science. George Routledge and Sons Press, 1944
- 7 Von Ricker H. Kulturwissenschaft und Naturwissenschaft. Tubingen Mohr, 1921
- 8 William K, Martha K. The Development of Logic. Oxford Press, 1962