

模糊神经网络在机器人控制中的应用

Automaton's Control Appliance with Fuzzy and Neural Networks

谢瑞霞 (温州广播电视大学 浙江 温州 325000)

摘要: 本文首先阐明模糊理论和神经网络技术的结合形式,主要体现在四个方面;以及二者与人工智能技术之间的关系,在知识处理过程中,这两种技术往往可以相互代替,取长补短;机器人在从事装配、空间对接、医疗手术等与环境有接触的作业时,需要对机器人进行力控制,以达到最佳的作业效果,文章中介绍了模糊神经网络在机器人控制中的应用——并联机器人自适应力控制器。最后,针对医用骨科机器人,谈一谈模糊神经网络技术在研究中应用的可能性。

关键词: 神经网络 机器人 模糊

1 引言

近年来,人工神经网络的研究取得了长足的发展,并已在信号分析、图象处理、模式识别、优化计算以及控制与辨识等领域获得了许多成功的应用。人工神经网络具有巨大的并行计算能力,在处理复杂的人工智能问题上显示出其优越的地位。但是,由于它有黑箱的弱点,即它没有能力对神经网络为什么给出一种这样或那样的决策做出恰当的解释,许多研究者因此而拒绝使用它。所以,在面向现实世界的具体问题时,让人相信网络决策的可靠性也是很难的。

另一方面,在近 20 年里,基于模糊逻辑开发模糊系统已成为非常活跃的领域,一些算法已在复杂系统的控制器设计中显示出相当的能力,而且模糊数学理论也为构造知识模型提供了极优越的工具。

如何将模糊理论和神经网络有机地结合起来,取长补短,提高整个系统的学习能力和表达能力,是目前最受人瞩目的课题之一。这方面的研究最早起源于欧美国家,但在 80 年代末期却在日本取得了相当大的进展。目前,在知识和信息处理领域,它独立于模糊逻辑和神经网络技术,已达到了一个特有的研究阶段。模糊和神经网络技术的融合克服了神经网络和模糊逻辑在知识处理方面的缺点,具有进行数据监督学习、处理经验知识和数学符号及基于语言表达的在线学习等功能,并已应用在温度控制、家电产品、模式识别及图像处理等领域中。近期,模糊和神经网络技术开始大量

应用于机器人的智能控制。

本文将首先阐明模糊和神经网络技术的结合形式,二者与人工智能技术的关系;接下来,介绍模糊神经网络在机器人控制中的应用——并联机器人自适应力控制器。最后,针对本人现阶段项目——医用骨科机器人,谈一谈模糊神经网络技术在研究中应用的可能性。

2 模糊和神经网络的结合形式

目前,模糊和神经网络技术从简单结合到完全融合主要体现在四个方面【见图 1】。由于模糊系统和神经网络的结合方式目前还处于不断发展的进程中,所以,还没有更科学的分类方法,下述结合方式是从不同应用中综合分析的结果。

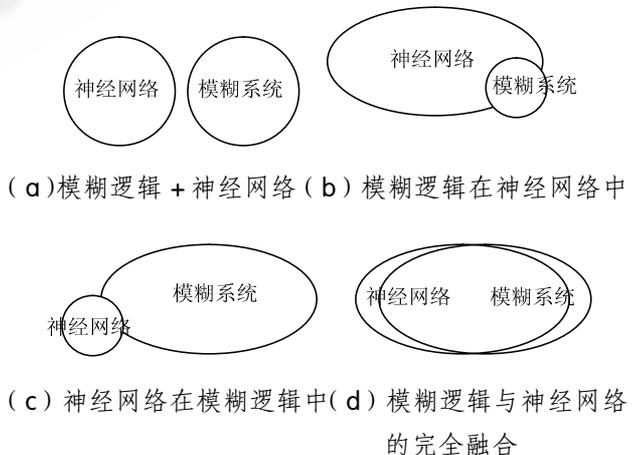


图 1 模糊系统和神经网络结合形式分类

* 模糊系统和神经网络系统的简单结合【见图 1 (a)】

模糊系统和神经网络系统各自以其独立的方式存在,并起着一定的作用。

2.1 松散型结合

在一系统中,对于可用“if-then”规则来表示的部分,用模糊系统描述;而对很难用“if-then”规则表示的部分,则用神经网络,两者之间没有直接联系。

2.2 并联型结合

模糊系统和神经网络在系统中按并联方式连接,即享用共同的输入。按照两系统所起作用的轻重程度,还可分为等同型和补助型。

2.3 串联型结合

模糊系统和神经网络在系统中按串联方式连接,即一方的输出成为另一方的输入。这种情况可看成是两段推理或者串联中的前者作为后者输入信号的预处理部分。

用模糊逻辑增强的神经网络【见图 1 (b)】

这种结合的主要目的是用模糊神经网络作为辅助工具,增强神经网络的学习能力,克服传统神经网络容易陷入局部极小值的弱点。图 2 描述了基于专家知识和规则,实现神经网络的训练。

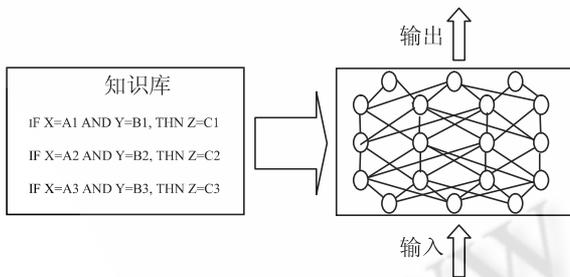


图 2 基于模糊系统的神经网络训练

* 用神经网络增强的模糊逻辑【见图 1 (c)】

这种类型的模糊神经网络是用神经网络作为辅助工具,更好地设计模糊系统。

2.4 网络学习型的结合

模糊系统设计的关键是知识的获取,传统方法难于有效地获取规则和调整隶属度函数,而神经网络的学习能力能够克服这些问题,故用神经网络增强的模糊系统,图 3 描述了这种类型的模糊系统。

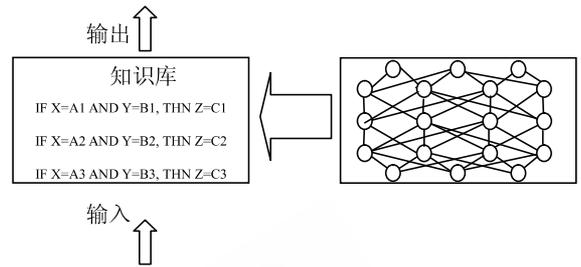


图 3 用神经网络增强的模糊系统

2.5 基于知识扩展型的结合

神经网络和模糊系统的结合是为了扩展知识库和不费时地对知识库进行修正,增强系统的自学习能力,这种自学习能力是靠神经网络和模糊系统之间进行双向知识交换而实现的【见图 4】。

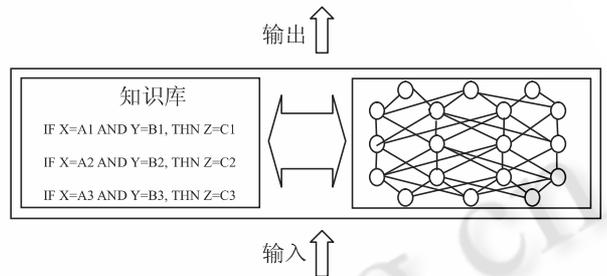


图 4 双向知识交换式的模糊系统

* 模糊逻辑与神经网络系统的完全融合【见图 1 (d)】

自 1990 年以来,这种类型的模糊神经网络一直是一个热点的研究课题。它主要是借鉴模糊推理的思路设计一些特殊结构的神经网络,这种网络与一般神经网络相比,其内部结构可观察到,而不再是一个黑箱。例如,设计模糊系统用一等价结构的神经网络表示,网络节点和参数都有一定的意义,即对应模糊系统的隶属函数或推理过程。

3 模糊、神经网络和人工智能技术的关系

模糊(Fuzzy)、神经网络(ANN)和人工智能(AI)技术的应用已越来越广,它们各自具有一定的特征【见图 5】。AI 研究的目的是用机器实现人的思维和判断能力,通常以“if A then B”的规则形式采用递归式的设置方法实现。A 为条件, B 为结果,满足 A 为 1,否则为 0,它实际上是以二值为基础的逻辑运算。只要 AI 的规

则数足够多,便可以实现高度的智能思维。若在上述(0,1)区间上插入连续量,用隶属度函数的形式来表达这个量,就可将AI技术模糊化,实现模糊推理,模糊技术是以隶属度运算为中心,由机器通过推理实现类似于人的判断能力的。

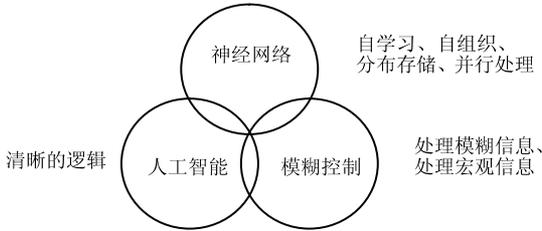


图5 模糊、人工智能和神经网络系统的关系

模糊技术不像人工智能技术,允许模糊表示,并积极地处理模糊知识,与神经网络相比,它能较清楚地表达知识;另一方面,模糊技术的自学习能力不如人工智能和神经网络技术,此外,人工智能技术较模糊技术能更清晰地表示知识。当神经网络的输出被限定在[0,1]区间上时,就可以将神经网络的输出与模糊逻辑的隶属度相对应。在知识处理过程中,这两种技术往往可以相互代替,取长补短。

4 基于模糊CMAC神经网络的机器人自适应力控制

机器人在从事装配、空间对接、医疗手术等与环境有接触的作业时,需要对机器人进行力控制,以达到最佳的作业效果。如果受控过程的脉冲响应函数或传递函数是已知的,则可用经典控制理论设计力控制器,对系统进行力控制。然而受控系统或多或少具有某些非线性、时变性、分布性和随机性,还有环境的干扰,这样在系统存在不确定性的情况下,就无法用数学模型描述系统的全部动态特性,这就需要进行自适应控制,以使系统维持在最优或接近最优的工作状态。

图6所示的是基于模糊CMAC神经网络的并联机器人自适应力控制器框图,这里只进行刚度控制。采用五层模糊CMAC神经网络结构,以力误差 $F_e = F_d - F$ 和力误差的变化率 F_e' 为输入,归一化处理后定义在[-1,1]区间;两个输入各采用9个语言变量,即负大(NL)、负中(NM)、负小(NS)、负零(NZ)、零(Z)、正零(PZ)、正小(PS)、正中(PM)和正大(PL);隶属函数

采用铃型函数。

$$m_{ij} = \exp\left\{-\frac{(x_i - \sigma_{ij})^2}{\delta_{ij}^2}\right\} \quad (i=1,2 \quad j=1,2,\dots,9)$$

其中 σ_{ij} 和 δ_{ij} 分别表示隶属函数的中心(均值)与宽度(方差)。网络的输出是机器人的位姿增量 ΔX ,经机器人位置逆解运算求出各输入角度 θ ,驱动机器人运动,对接触力进行调整。

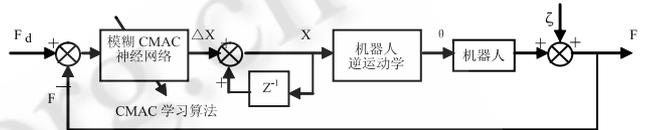


图6 模糊CMAC自适应力控制器框图

首先,对医用骨科机器人作一下介绍。医用骨科机器人系统是MRCAS系统中的一个子系统,采用的MRCAS结构如下【见图7】。

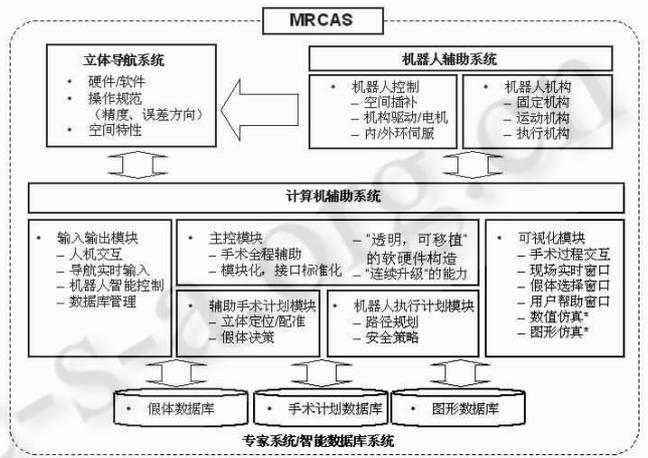


图7 MRCAS系统结构

系统中,立体定位系统(NDI的PORLARIS)作为主要数据输入通道,用于精确获取病骨与医用机器人之间精确的相对位置。随后将这些现场实时空间信息融入术前重建的三维病骨模型。其间需要确定术前模型与术中实物的三维空间变换关系,即配准(现采用ICP算法)。接下来,医用机器人根据计算机辅助系统制定的手术计划进行手术操作。术中,立体定位系统通过对机器人与病骨空间位置的不断采集,结合机器人多轴控制器实现视觉伺服【见图8】。

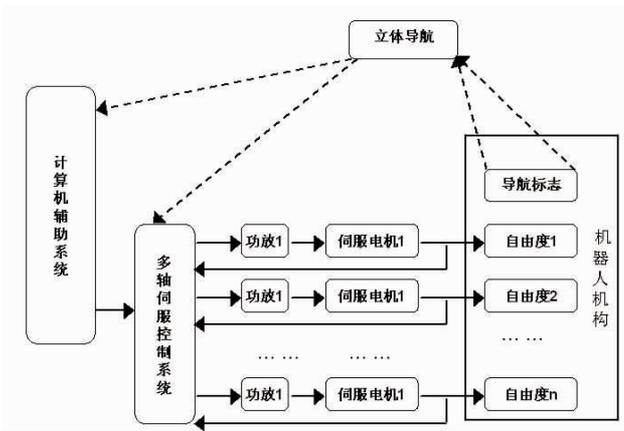


图 8 机器人控制系统

现设计的医用骨科机器人的自由度有六个：三个转动与三个平动，末端为一切削动力头。机器人的六个自由度协同完成空间曲线/曲面的插补，并在插补同时按手术计划完成部分病骨的切除。

在切除过程中，由于骨头的本质特点（松质骨与皮质骨切削性能差异）及病理原因（病骨常带有硬化区域和骨刺），造成了整个切削过程进给受力的非线性、时变性、空间分布性和随机性。同时，由于骨质不同于一般金属或非金属材料的切削，其粘性质地造成排屑困难和散热不良，导致局部粘刀现象及切削力振荡效应。

再者，考虑到设计的机器人属小型机器人，希望尽量减轻自重。这样一来，由于刚度下降而要求限定机构整体负载，同时考虑机构高速切削受力（切削动力头为 50 000rpm, 50W $\beta \sim 25\text{N}$ 非线性空间受力分布）后的稳定性。因而，该多自由度机构的刚度设计取决于切削力的大小与方向。

由于现在只用机器人辅助完成膝关节手术，成型面较为简单，轮廓线基本为折线。一个可行的方法是在一个切削区域中选定其合适的进给角度，在机器人切削过程中不断改变进给速度，实施自适应力控制。

现拟采用上文介绍的“模糊 CMAC 神经网络”，实现智能切削控制。系统力控制框图与图 6 类似，框图输入为切削动力头驱动伺服电机的反馈电流，输出为动力头的进给速度，由伺服调速实现。

已对牛骨做了切削实验，获得了同一刀具、切深、

切宽、进给速度下切削受力（由伺服电机反馈电流换算）的空间分布，以及不同刀具、切深、切宽、进给速度下一系列的切削力数据。同时，对牛骨进行了 CT 扫描，根据经验公式将 CT 数换算为骨密度值。现在正试图找出骨密度（或 CT 数）与骨强度（或切削力）之间的关系。若可行的话，准备基于 CT 重建后的模型进行空间分布赋值，在赋值后的模型上进行切削仿真，检验自适应切削力的可行性与实效。

综上所述，由于 MRCAS 系统是一个智能较高的系统，单就医用机器人这一项就有着较大的应用前景，但最后如何，需在合理建模及仿真后，才能有初步的结论，最后将其应用于手术才是根本的目标。

参考文献

- 1 张乃尧, 阎平凡. 神经网络与模糊控制. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- 2 袁曾任. 人工神经网络及其应用. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- 3 窦振中. 模糊逻辑控制技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1997.
- 4 易继锴, 侯媛彬. 智能控制技术. 北京: 北京工业大学出版社, 1999.
- 5 楼世博, 孙章, 陈化成. 模糊数学. 北京: 科学出版社, 1987.
- 6 焦李成. 神经网络系统理论. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990.
- 7 孙增圻. 智能控制理论与技术. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- 8 李士勇. 模糊控制·神经网络和智能控制论. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996.
- 9 Albus J S. A New Approach to Manipulator Control: The Cerebellar Model Articulation Controller (CMAC). Trans ASME J Dyn Syst Meas Contr, 1975. 220 - 227.
- 10 邓志东等. 一种模糊 CMAC 神经网络. 自动化学报, 1995, 21(3): 288 - 293.
- 11 王顺晔, 舒迪前. 智能控制系统及其应用. 北京: 机械工业出版社, 1995.
- 12 Kanayama Y. A locomotion control method for autonomous vehicles. Proc of the IEEE (下转第 102 页)

性,需要在不同情况下评估它们的性能,如改变资源数和不同要求的用户。本文利用 GridSim 工具采用实验分析算法,对混合算法与基本蚁群算法进行对比分析。文献 5 中所使用的随机网络拓扑结构生成法所产生的网络结构可以具有实际网络的一些特征。在仿真实验中所采用的网络结构由这种方法生成,设定资源节点数为 8,算法中遗传算法的迭代次数为 25 次,蚁群算法中各路径信息素初始值为 τ_0 设为 50。混合算法求解过程中 α 、 β 、 ρ 值的设定根据表 1。为测试混合算法的性能,我们分别利用混合算法和基本蚁群算法进行优化,所得到的实验结果如表 1 与图 2 所示,该结果进一步表明了混合算法在有效性方面的优越性能。

表 1 基本蚁群算法和混合算法实验结果

α	β	ρ	算法的进化代数	
			基本蚁群算法	混合算法
1	1	0.8	355	25 + 13
1	2	0.8	345	25 + 11
2	1	0.8	386	25 + 18
2	2	0.8	370	25 + 15
2	3	0.8	394	25 + 21
3	2	0.8	387	25 + 19
3	3	0.8	342	25 + 10

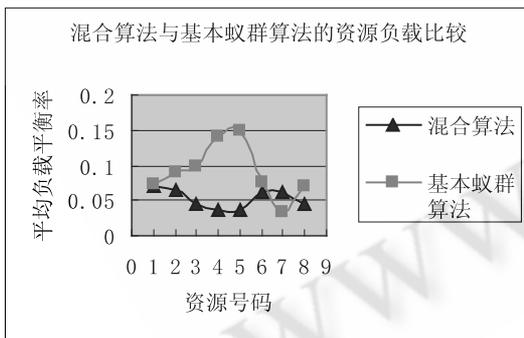


图 2 混合算法与蚁群算法的资源负载比较

实验说明混合算法具有比基本蚁群算法更强的搜索全局最优解的能力。而且混合算法比基本蚁群算法有更好的资源负载平衡率、稳定性和收敛性。

参考文献

- 1 Fujimoto N, Hagihara K. A comparison among grid scheduling algorithms for independent coarse-grained tasks. In: Proc. Of the 2004 Symp. on Applications and the Internet - Workshops. Washington: IEEE Computer Society Press, 2004. 674 - 680.
- 2 De Turek F, Vanhaste S. A generic middleware-based platform for scalable cluster computing J, Future Generation Computer Systems, 2002, 1: 549 - 560.
- 3 Srinivas M, Patnaik L M. Genetic algorithm: a survey. IEEE Computer, 1994, 27(6): 17 - 26.
- 4 Liang Y C, Smith A C. An ant system approach to redundancy allocation C, Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation, Washington, 1999, 1478 - 1484.
- 5 段海滨. 蚁群算法原理及其应用. 北京: 科学出版社, 2005: 35 - 36.

(上接第 91 页)

- Inter Conf on Robotics and Automation. 1988 (3): 1315 - 1317.
- 13 Lee S S, Williams J H. A fast tracking error control method for an autonomous mobile robot. Robotica. 1993, 11: 209 - 215. Reference 5.
- 14 Waxman A M, Lwmoigne J J. A visual navigation system for autonomous land vehicles. IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987, RA - 3: 349 - 358.
- 15 Tomas W. Miller, III. Real-Time Application of Neural Networks for Sensor-Based Control of Robots with Vision. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics, 1989, 19(4): 825 - 831.

5 结语

混合算法是将并行遗传算法快速的全局搜索能力与蚁群算法高效的局部最优性质相结合生成的,通过