

神经网络推理机制的电机调整设计专家系统

方 瑞 明

(华侨大学信息科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要 针对传统电机调整设计专家系统的缺陷, 提出一种新型的, 基于神经网络推理机制的电机调整设计专家系统模型. 该模型将神经网络技术与专家系统技术、优化技术紧密结合, 采用并行推理策略, 能够有效提高推理效率, 解决调整设计过程中调整力度难以确定的问题.

关键词 电机设计, 专家系统, 推理机, 神经网络

中图分类号 TM 302; TP 183

文献标识码 A

电机设计专家系统在电机 CAD 系统的基础上增加了知识处理手段, 将推理与计算相结合, 知识与模型相结合, 利用专家系统技术指导设计者调整设计, 取得了一定的效果^[1,2]. 然而, 传统的专家系统求解推理过程, 主要是在解的状态空间进行符号的匹配、搜索和回溯的过程. 这类系统存在一些固有的缺点, 如“知识获取瓶颈”、推理能力弱、组合爆炸等问题^[3]. 上述缺陷的存在造成了电机设计专家系统推理效率低、学习能力差, 困扰着电机设计专家系统的推广与应用. 人工神经网络(ANN)具有潜在的并行分布式问题求解能力, 为解决以上问题提供了一条新的途径. 文[4]提出了一种混合型专家系统技术, 利用神经网络与专家系统的功能互补关系, 分别用它们来完成电机设计不同阶段的工作, 以解决传统人工智能技术极难求解的问题. 但这种方法只是实现专家系统与人工神经网络在功能上的结合, 无法从根本上解决电机调整设计专家系统的固有缺陷. 为克服传统电机调整设计专家系统的上述缺陷, 本文将专家系统、神经网络与优化设计方法相结合, 提出了一种基于神经网络的推理机制.

1 系统的总体设计与构成

本文的神经网络推理机制是利用神经网络完成专家系统的推理机制, 由优化设计方法确定调整力度. 在此基础上构造了一个新型的电机设计专家系统, 其结构如图 1 所示. 与传统的基于逻辑符号操作的推理机制不同, 本系统采用基于神经网络的推理机制, 其推理过程为一并行的数值计算过程. 它从电机设计方案当前状态存在的主要问题出发, 按照一定的算法, 通过神经网络所含知识之间的关系, 在问题求解空间进行并行“搜索”, 得出最终解(即调整对象与方向). 神经网络内部状态演变轨迹与推理过程相对应, 内部状态演变过程的结束相当于推理过程的结束. 整个推理过程为一个并行推理过程, 提高了专家系统的推理

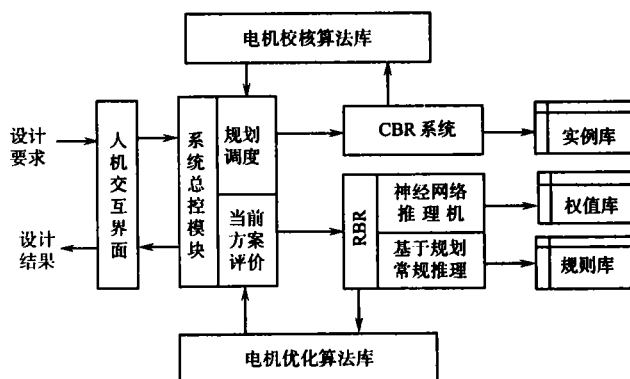


图 1 电机调整设计专家系统结构

收稿日期 2005-08-14

作者简介 方瑞明(1972-), 男, 副教授, 主要从事电机智能设计和电气装置故障检测与诊断的研究. E-mail: fangrm@hqu.edu.cn

基金项目 福建省青年科技创新基金资助项目(2004J032); 华侨大学高层次人才科研启动基金资助项目(2003B01)

效率. 不仅如此, 电机调整过程中, 调整规则大多来源于设计人员的个人经验, 普遍具有不完整性的特点. 神经网络所具有的输入信息不完整时, 能够消除输入失真影响的能力, 可有效解决这个问题. 神经网络推理机还能够实现专家系统自学习功能. 即当设计者在使用中通过神经网络推理机得到较满意解时, 可以反过来用此解训练神经网络, 进一步调整权值矩阵. 同时, 将其以模糊产生式规则知识形式存入知识库, 可完成专家系统的自学习过程.

2 系统的工作过程

2.1 初始设计方案确定

根据用户输入的设计要求与技术指标等参数, 生产基本符合设计要求的初始方案的过程. 本系统在确定电机初始设计方案时, 采用类比设计法, 其基本流程如图 2 所示.

2.2 设计方案评价

设计过程中需要及时对设计状态进行评价, 以判断设计质量, 确定设计方向. 考虑到电机设计方案评价问题的不确定性、模糊性等特点, 本文采用模糊综合评判技术对设计方案进行评判^[5].

2.3 电机调整设计过程

2.3.1 确定调整对象和调整方向 系统采用基于规则推理的技术, 其推理机制包含两部分. 一部分为神经网络推理机, 它采用并行推理机制; 另一部分为传统的串行推理机. 系统工作时, 神经网络推理机供调整设计调用, 而串行推理机则用做解释调整措施. 这样既解决了传统专家系统推理效率较低的缺陷, 又弥补了神经网络推理机缺乏解释能力的问题. 神经网络推理机只能根据当前方案的状态和不足, 确定调整对象和调整方向, 这样可以通过对输出结果设置阈值的方法消除输入噪声的影响.

2.3.2 调整力度的确定 电机优化设计是以最优化数学理论为基础, 借助计算机, 自动寻求最优设计方案的一种设计方法. 其数学模型可以描述为

$$\min_{X \in R} F(X), \quad R = \{X \mid g_j(X) \leq 0, j = 1, 2, 3, \dots, m\}$$

在上式中, $F(X)$ 为优化设计目标函数, X 为优化变量, $g_j(X)$ 电机设计约束条件. 当推理机制根据当前方案的不足, 经过推理, 指出调整设计的调整对象和调整方向后, 即可利用电机优化设计算法确定调整力度. 以当前不足的性能指标为优化目标, 以调整变量为优化变量, 并根据调整方向, 选择优化变量的当前值为上限(调整方向为缩小, 若增加, 则为下限). 再根据变量的类型及电机设计的层次, 取一缩小比例因子确定下限(或上限), 以满足其他性能指标为约束条件, 即可确定优化数学模型. 其优化结果能够保证为当前调整措施时的最优值. 本系统中优化设计算法采用改进遗传算法^[6].

3 基于神经网络的推理机制实现

3.1 广义模糊产生式规则描述

电机调整设计是一个根据当前设计结果, 找出与设计要求的不足, 通过分析电机电磁参数(如电机各部分的磁密、电密), 调整电机的结构变量(如定转子冲片数据、绕组数据等), 使设计方案向设计要求靠齐的过程. 由于电机功能空间和结构空间之间的关系无法通过显式的数学公式描绘, 电机调整设计专家系统通常采用广义模糊产生式规则描述此过程. 其形式可以归纳为

$$\text{IF } P_1(C_{P1}), P_2(C_{P2}), \dots, P_n(C_{Pn}) \text{ THEN } A_1(C_{A1}), A_2(C_{A2}), \dots, A_m(C_{Am})$$

其中, P_n 为第 n 个前提变量名, C_{Pn} 为前提变量的模糊化描述, A_m 为该规则的结论部分, C_{Am} 为结论的模糊化描述. 下面就是 1 条针对电机效率低于额定要求时的电机调整设计规则.

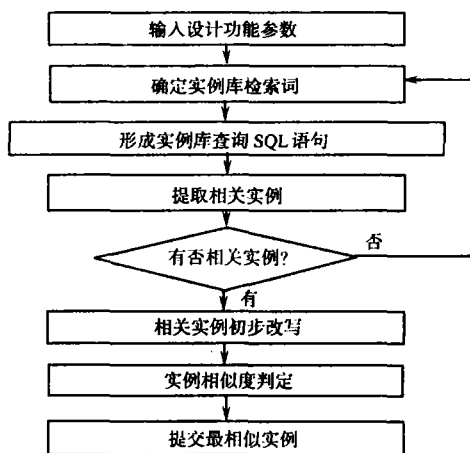


图2 初始设计方案产生的类比设计流程

规则 IF KTST(0.5) KIST(0.8) KBT2(0.4) KBC2(0.5) THEN BR1(1) HR2(1)

如果起动转矩适中且起动电流有裕度且转子磁部磁密偏低且转子轭部磁密适中,那么增大转子槽宽和增大转子槽高(可以降低转子铜损,提高效率)。

需要指出的是,上述规则中的“适中”、“有裕度”、“偏低”等术语,为当前设计方案的指标值对设计要求值的模糊隶属度的语义描述,具体可参考文[6]。

3.2 神经网络与产生式规则的耦合

将广义模糊产生式规则表示为一个3层BP神经网络^[7],如图3所示。输入神经元对应规则的前提

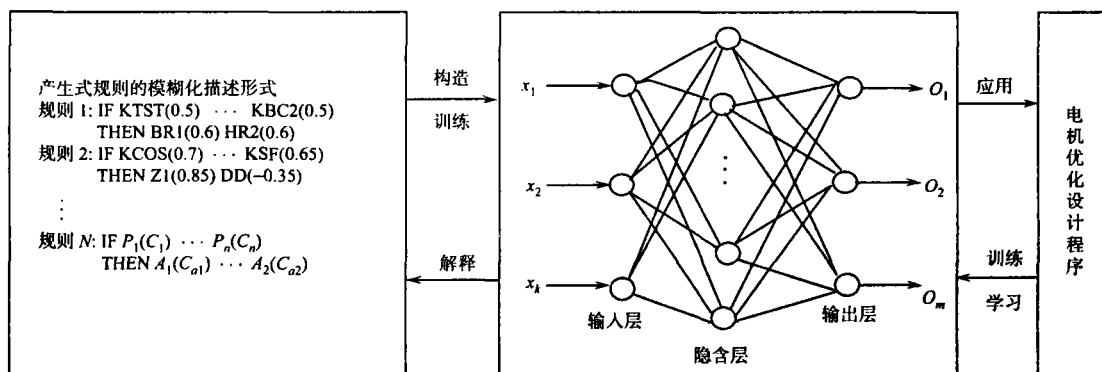


图3 神经网络与产生式规则的耦合

变量(一般为电机的性能指标和电磁参量),其输入值为该前提变量值;输出神经元对应规则的结论变量(一般为电机的主要结构变量),输出值为结论变量的调整方向。由于神经网络的输入一般取值 $[0,1]$,因此首先要通过模糊数学的方法,将产生式规则中的前提变量值模糊化处理转换到 $[0,1]$ 区间。在调整设计时,不仅要看当前方案的性能指标具体值是多少,更考虑它与设计要求的符合程度,系统采用偏差系数来描述这种关系^[5]。

3.3 神经网络推理机制的训练与实现

3.3.1 结构的确定 输入神经元即产生式规则中的前提变量,包括电机性能指标和电机电磁参数共13个变量。输出神经元则为可调整变量。需要指出的是,电机的设计可以分为大改、中改和小改3个不同层次,不同设计层次时可调整的变量也各不相同。以小改层次为例(即通过修改样本电机的绕组数据和铁芯叠片长度达到新的设计要求),此时输出神经元取3,分别对应铁芯长度、每槽导体数及线规。隐含层节点数(后接)参照下式并经进一步实验确定为

$$n_1 = \begin{cases} n + 0.618 \cdot (n - m), & n \geq m, \\ m - 0.618 \cdot (m - n), & n < m, \end{cases} \quad (1)$$

在式(1)中, n 为输入节点数, m 为输出节点数, n_1 为隐层节点数。

3.3.2 网络参数的确定 (1) 初始权值。采用随机生成法产生 $[0,1]$ 之间的随机数作为初始权值。(2) 学习率 η 。在反向传播网络中,其选取为

$\eta = 1/\sqrt{n_1}$,并采用动态学习率以加快收敛过程。采用收集的电机调整规则,其三分之二作为学习样本,三分之一作为测试样本。利用经上述改进后的BP算法对神经网络进行训练,直至误差达到要求,存储此时的权值矩阵,即可用于调整推理。与传统的基于符号操作的推理机制不同,神经网络系统赋予了推理这一概念新的定义。神经网络的推理过程为一并行的数值计算过程,其推理控制过程如图4所示。

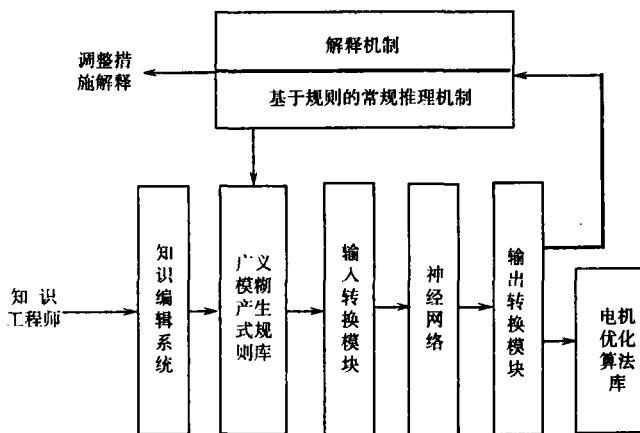


图4 神经网络推理机制

4 设计实例

运用本文所提出的方法,对一台高速主轴电机进行设计.电机型号为 HSM 24-2,额定电压为 290 V,额定功率为 3.0 kW,最高运行频率为 400 Hz,最大转速为 $2\,400\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$.以额定效率(η)为优化目标,

在功率因数(PF)、热负荷(AJ)、最大转矩倍数(T_m)、起动转矩倍数(T_{st}),以及起动电流倍数(I_{st})满足设计要求的前提下,选择每槽导体数(Z)、绕组线规(DD)、定子槽宽(B_s)、定子槽高(H_s)、转子槽宽(B_r)、转子槽高(H_r)为设计变量,结果如表 1 所示.由表 1 可见,神经网络推理机的调整结果优于传统推理机.需要指出的是,虽然采用神经网络推理机制的训练时间较长,但训练过程一旦结束,在调整设计过程中,其推理速度也优于传统推理机.

表 1 高速电主轴电机的方案调整设计

参量	设计要求值	调整前值	调整后值	
			传统推理机	神经网络推理机
$\eta/(\%)$	82.5	81.42	81.64	82.62
$PF/(\%)$	75	75.60	75.42	75.04
$AJ/A\cdot\text{cm}^{-2}$	2 100	2 065	2 051	2 046
T_m	1.60	1.56	1.57	1.62
T_{st}	0.3	0.32	0.34	0.35
I_{st}	3.5	2.85	2.77	2.64
Z		38	37	36
DD		0.9(3)	0.9(3)	1.0(3)
B_s/mm		6.6	6.9	7.2
H_s/mm		11.24	11.8	12.2
B_r/mm		3.8	3.8	4.2
H_r/mm		9.7	3.9	10.6

5 结束语

本文针对传统电机调整设计专家系统的缺陷,提出了一种新型的基于神经网络推理机制的电机调整设计专家系统模型.该模型将专家系统技术与神经网络、电机优化设计方法有效结合,具有并行推理和系统自学习能力,还可以解决调整设计过程中调整力度难以确定的问题.根据本文模型所开发的高速电主轴智能设计系统,在实际应用中取得了较好的效果.

参 考 文 献

- 1 王秀和,唐任远.基于最优调整控制策略的电机设计专家系统[J].中国电机工程学报,1999,19(5):44~47
- 2 王秀和.一种用于设计类专家系统的设计方案调整策略[J].计算机辅助设计与图形学报,2000,12(6):446~469
- 3 焦李成.神经网络系统理论[M].西安:西安电子科技大学出版社,1991.21
- 4 方瑞明,胡虔生.异步电机设计混合型专家系统[J].中小型电机,2000,27(3):11~14
- 5 方瑞明.电机设计状态的模糊综合评价研究[J].中小型电机,2005,32(4):1~5
- 6 方瑞明.变焦策略的高速异步电机优化设计遗传算法[J].华侨大学学报(自然科学版),2005,26(2):125~129
- 7 威德虎,康继昌.BP神经网络的设计[J].计算机工程与设计,1999,19(4):48~50

The Expert System of the Motor Adaptation and Design Based on Neural Network Inference

Fang Ruiming

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, 362021, Quanzhou, China)

Abstract Aiming at the limitation of traditional expert system of the motor adaptation and design, a novel expert system based on neural network inference has been presented. The hybrid system, by integrating the expert system technology, neural network technology, and motor optimization design technology together, has the parallel reasoning ability and self learning ability, which can overcome the difficulties of deciding adjustment extent in adaptation design process and increase the inference efficiency.

Keywords motor design, expert system, inference mechanism, neural network