第47卷第2期
2007年 3月
大 连 理 工 大 学 学 报
Journal of Dalian University of Technology
Vol. 47, No. 2
Mar. 2007

材料、机械工程
文章编号: 1000-8608(2007)02-0190-06

基于 ANN支持产品设计过程的知识获取方法研究

孙 伟*[1], 袁长峰[2], 高天一[1], 马沁怡[1]

(1.大连理工大学 机械工程学院, 辽宁 大连 116024;
2.大连海事大学 经济管理学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 建立设计过程与产品知识间的关联,是实现产品设计过程中知识获取的有效途径. 引入设计仓库概念,通过建立产品知识模型,以产品结构树为核心组织产品知识,采用人工神经网络技术,根据设计过程中不同阶段的设计要求,设计各阶段的神经网络模型,建立设计过程中不同阶段与其相应的产品结构间的关联关系. 以卷板机的总体方案设计过程为例,设计了该阶段的 2层结构的 BP网络模型,通过对网络进行训练,并对新的设计任务进行预测,验证了该方法的有效性.

关键词: 设计过程; 产品知识模型; 知识获取; 人工神经网络
中图分类号: TH166; TP14 **文献标识码:** A

0 引 言

产品设计过程是整个产品开发的龙头和重要阶段,这一过程是知识密集的创造性活动. 不同角色的产品开发人员在设计过程中需要获取、运用并产生大量的知识,知识在设计人员、设计开发平台、知识库、数据库等知识存储机制之间不断地交互和转换. 整个产品设计过程是一个知识获取、存储、传递、应用和再生的过程,从设计知识的角度讲,产品设计过程就是知识管理过程. 对产品设计过程进行有效的知识管理,可根据产品设计过程中任务划分为不同阶段,为设计人员提供解决问题所需的知识. 有效的知识管理应紧密服务于产品设计过程中的具体活动,在不同的设计阶段和活动中为设计人员推送知识.

设计知识获取是知识管理过程中的重要组成部分,也是一个难点. 有效的知识获取可提高设计效率,降低设计成本,提高设计准确性. 目前,关于知识获取机制,国内外学者和研究机构从不同方面进行了研究. Humang等[1]在研究基于过程、知识驱动的产品开发环境时,提出一种集成人工神经网络和模糊逻辑的结构化知识表示方法来获取人的经验知识. 文献[2]提出一种知识代理模型,通过该模型获取知识以支持产品的自动化设计. 谢友柏主导建立了现代设计与制造网上合作研究中心,进行异地合作的产品设计和开发中获取设计知识等[3]. 文献[4]研究了概念设计过程中所需的知识,构建了该过程中基于知识工程理念的知识获取系统框架. 文献[5]提出在虚拟装配环境中,采用粗糙集规则推理方法获取装配规则领域专家知识. 高伟等[6]构建了辅助型工艺知识库,讨论用语义匹配、文本聚类、关联规则和序列模式等数据挖掘方法来获取库中的知识. 文献[7]建立了夹具设计专家系统知识发现模型,运用粗糙集理论从专家的经验数据和实际案例中获取知识. 从上述研究中可以发现,目前关于知识获取机制的研究更多地集中于获取的手段和方法,即采用哪些数学方法和手段来获取存储于知识库中的知识,或从已有数据中挖掘知识构建专家系统. 而本文主要从如何建立这种知识获取机制的角度出发,对产品整个设计过程进行探讨,研

收稿日期: 2006-08-10; 修回日期: 2007-01-15.
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50475156); 辽宁省科技攻关计划资助项目(2003216006).
作者简介: 孙 伟*(1967-), 男, 教授, 博士生导师.
?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

究如何建立设计过程与产品知识间的关联关系,从而建立产品设计过程中的知识获取机制. 建立的方法有多种,本文引入设计仓库的概念,通过构建产品知识模型组织存储于设计仓库中用于设计过程的产品知识,以产品整个设计过程为研究对象,结合设计过程各阶段不同的设计要求,采用人工神经网络方法,建立设计过程与产品知识模型中的产品结构树间的关联关系,从而建立设计过程与产品知识间的关系,实现对产品知识的获取.

1　支持产品设计过程的知识获取实现途径

产品设计过程需要大量知识的支持,包括设计知识、工艺知识、制造知识、设计经验等,这些知识通常存储在数据库、知识库、数据仓库中. 本文引入设计仓库的概念. 设计仓库类似于数据仓库,是一种面向主题、具有很强的产品数据分析和产品知识发现能力,以"产品为中心"的知识仓库,存储着产品开发中所需的各方面知识,为解决产品开发全生命周期中知识管理与知识重用问题提供帮助和服务[8]. 如何对设计仓库中的这些知识进行合理组织,是有效应用设计知识的基础. 解决该问题的一种有效方法是建立产品知识模型,把产品相关的各种知识资源集成起来. 产品知识模型是以产品结构树为组织核心,把定义最终产品的工程数据和文档等相关知识资源关联起来的一种组织模型. 由产品知识模型所组织的知识,主要是一些可以结构化的、显性的知识,这些知识也是在产品设计过程中需要获取的主要知识. 在产品知识模型中,产品结构树中各节点与其相关的各种知识资源则通过产品配置系统进行关联和集成,二者间的关系如图 1所示.

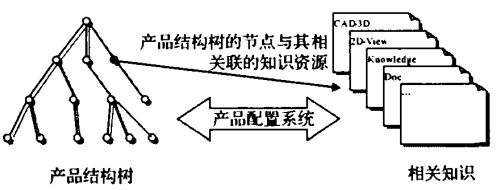

图 1　产品结构树与其相关知识资源集成

Fig. 1　Product structure tree integrating with the knowledge resources

产品设计过程是一个多任务分阶段的复杂过程,一般来讲,设计过程可分为明确设计任务、提出总体设计方案、初步设计、结构设计、试制与鉴定、产品定型与批量投产 6个阶段,各阶段的特点不同,对产品的设计要求也不相同,因而对应不同阶段所获取的知识就不同. 由图 1可知,设计过程中所需的这些知识资源是以产品结构树为组织核心的,而设计过程的不同阶段根据其各自的特点需获取的知识,最终都会映射到产品结构中去. 如在产品总体设计阶段,其特点是根据客户的定制要求,确定出产品的设计要求,主要是功能方面的设计要求,设计人员需要从设计仓库中获取的是有哪些结构能够满足这些功能设计要求;再如,在产品结构设计阶段,设计要求转化为详细、具体的一些结构参数或性能指标,这时,设计人员需要获取的是能够满足这些具体参数的结构,但这时的结构与总体设计阶段相比,是一些零部件的结构. 因此,通过建立设计过程与产品结构之间的关系,并将产品结构通过配置系统与相关的产品知识进行关联和集成,可以使设计者快速获得支持产品设计全过程的企业积累的显性知识. 设计过程与产品知识间的关系,即支持产品设计全过程的知识获取机制如图 2所示. 从图中可以看出,产品设计过程中的知识获取途径可通过建立设计过程与产品结构之间的关联关系来实现,一方面能够实现设计仓库中知识向设计过程各阶段所需知识的主动推送,另一方面还能将设计过程中创造出的各种新的知识进行存储和更新,从而不断扩充设计仓库知识.

2　采用人工神经网络实现产品设计过程中的知识获取

从上述分析可知,设计过程中的知识获取可以通过建立设计过程与产品结构间的关联关系实现,而设计过程与产品结构之间是一种较复杂的非线性关系,建立这种非线性关系可以采取多种方法,如关联规则法、传统专家系统、人工神经网络等. 关联规则法是数据挖掘的一种手段,它更适合于在大规模事务数据库中分析数据之间的关系;在传统专家系统中,一般采用符号匹配方式,在知识库中逐个搜索所有的方案组合来确定一种

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

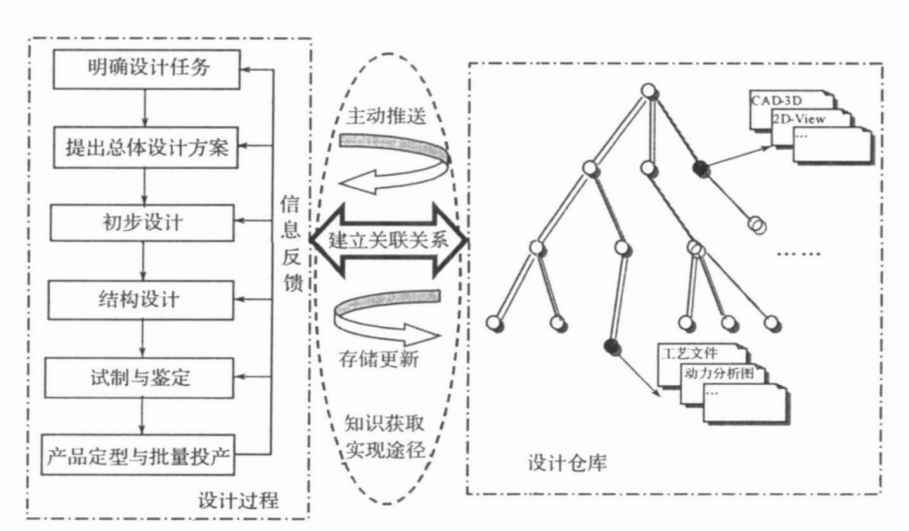

图 2 支持产品设计全过程的知识获取机制

Fig. 2 Mechanism of knowledge acquisition supporting whole process of product design

合适的方案. 由于机械设计是一个多阶段多子任务的链式工作,如各阶段可供选择的方案过多,则可能的方案组合数量将十分巨大,容易产生组合爆炸[9]. 在实际设计过程中,设计师在这种海量组合方案中进行方案确定时,并非采用排列法逐一选择判断,而是在更高的层次进行综合和归纳,只考虑集中可行的方案,因而能快速作出较为理想的决策,并且,不会因为部分信息的缺乏而出现匹配不上、无法进行决策的情况. 人工神经网络(ANN)可以很好地模拟设计师的这种思维和决策方式,在方案确定、模式识别以及函数拟合等方面具有独特的优势. 人工神经网络在机械设计中的应用也较广泛,如 ANN用于齿轮传动的优化设计[10]、滚动轴承设计中的故障诊断分析[11]、自行车变速器的优化设计[12]、凸轮型线的拟合、螺栓联接可靠性优化设计、V带传动的带型选择等. 这些应用中,ANN大多集中于具体的结构设计阶段,所输入的数据更多的是由实验获得的定量化数据. 而产品设计过程是由多个阶段组成的一个知识传递过程,每一阶段有不同的特点和设计要求,而且,下一阶段需要用到上一阶段的设计结果,因此,基于 ANN的设计过程与产品结构间的模型结构是一个由多个子网络连接的组合结构,根据设计过程的不同任务划分阶段,对应的网络组合结构主要是由总体设计阶段、初步设计阶段和结构设计阶段组成的,组合模型结构如图 3所示.

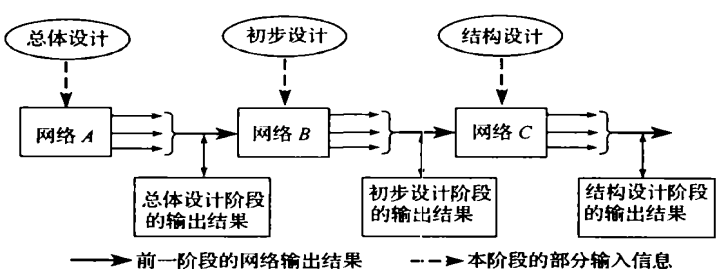

图 3 设计过程 ANN组合模型

Fig. 3 Combined ANN model of design process

图中,串联的各网络对应于设计的各阶段,前一级网络的输出,将作为后一级网络的部分输入信息,每一阶段 ANN所选择的是各阶段的结构方案,通过结构再与其相关知识关联,从而实现

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

设计阶段与知识的关联. 对于各阶段对应的神经网络结构,可以根据各自特点选取不同的网络模型,如 BP网、Hopfield神经网络、自组织神经网络等. 网络的输入应当是各设计阶段的设计要求,并结合上一阶段的输出结果综合考虑,网络的输出是该阶段对应的各部分结构,通过对各阶段神经网络模型的计算和训练,使设计阶段的设计要求转化为所需的结构特征,将设计过程与产品结构建立关联,从而实现产品设计全过程中的知识获取. 而且,当有新的设计任务出现时,可以利用已经训练好的神经网络模型来预测和推算新的设计结果,为新任务中各设计阶段快速提供决策知识.

3　应用实例

根据上述研究,本文以卷板机设计为例,说明采用人工神经网络来建立辊床的总体设计过程与产品结构间的关联,实现总体设计阶段的知识获取,并为新设计任务的完成快速提供所需的知识.

由图 3可知,各阶段人工神经网络模型的输入信息是该阶段的设计要求,并结合上一过程的输出结果,输出是该阶段对应的各部分结构. 卷板机的方案设计阶段的设计要求,即网络的输入数据分别是板材的厚度、宽度、体积、材料、可调性、线速度、造价;对应的各部分结构,即网络的输出分别为传动方式、轴承类型、下压装置、动力类型、取板方式,输入输出数据的取值如表 1表 2

表 1　输入数据的取值

Tab. 1　Input values

输入项	取值
可调性	0(固定), 1(可调)
体积	0(越小越好), 1(不限)
厚度	2, 4, 6, 8, 10, 12
宽度	100, 200, 400, 600, 800, 1 000, 1 200, 1 400, 1 600, 1 800, 2 000
材料	16, 70, 120, 200
线速度	100, 200, 300, 400
造价	0(越低越好), 1(不限)

表 2　输出数据的取值

Tab. 2　Output values

输出项	取值
传动方式	0(大扭矩斜齿、摆线), 1(小扭矩蜗杆)
轴承类型	0(滑动), 1(滚动)
下压装置	0(液压), 1(螺旋)
动力类型	0(直流), 1(交流)
取板方式	0(倾覆), 1(摆动)

所示,其中,板材的类型用其弹性模量来表示. 网络模型采用包含一个隐含层的 2层 BP网络结构,网络的拓扑结构如图 4所示,其对应的神经网络模型结构如图 5所示. 在网络模型结构中,输入变量是 7个,隐含层的神经元数为 12,输出层的神经元数为 5. 采用拟牛顿方法训练网络,输入样本选取 60组数据,样本数据、期望输出以及网络输出结果如表 3所示,设 10^{-5}为网络训练的目标值,网络训练次数与误差曲线如图 6所示.

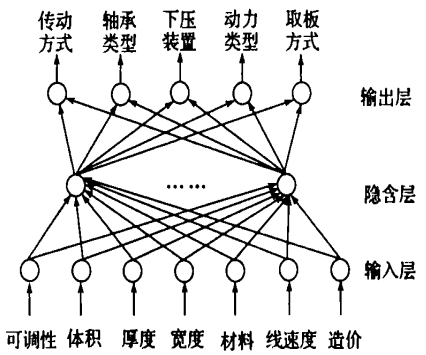

图 4　卷板机的 BP网络拓扑结构

Fig. 4　BP topological network of plate bender

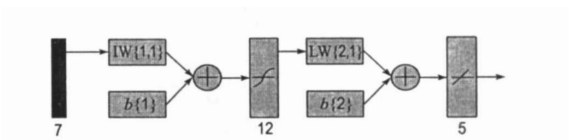

图 5　BP神经网络模型

Fig. 5　Model of BP neural network

由此可知,通过建立神经网络模型并对其进行训练,使卷板机在总体方案设计阶段的设计要求与产品结构之间建立起关联关系,从而使产品设计过程与产品结构之间建立了相互关系,再根据产品知识模型,通过产品配置系统建立产品结构与其相关知识间的关系,实现产品设计过程与

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 样本数据、期望输出以及网络输出结果

Tab. 3 Training data, expectation outputs and actual outputs

样本序号	样本数据							期望输出					网络输出				
	可调性	体积	厚度	宽度	材料	线速度	造价	传动方式	轴承类型	下压装置	动力类型	取板方式	传动方式	轴承类型	下压装置	动力类型	取板方式
1	0	1	0	0	0.293	0	0	1	1	1	1	0	1.030 9	1.023 3	1.010 9	1.084 5	0.075 2
2	0	1	0	0.556	0.293	0.333	0	1	1	1	1	1	1.039 4	0.960 9	1.018 1	1.002 1	1.009 5
3	0	0	0.4	0.111	1	0.333	0	1	1	1	1	0	1.092 9	0.997 8	1.044 0	1.048 4	0.009 9
4	0	0	0.4	0.222	1	1	1	1	1	1	1	0	1.032 8	1.064 1	1.117 3	1.089 1	0.029 6
5	0	1	0.8	0	0.293	0.333	1	1	1	1	1	0	1.068 5	1.070 0	1.024 1	1.066 8	0.057 7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
56	1	0	1	0.444	1	1	1	0	0	0	0	0	0.017 2	0.095 9	0.083 7	0.052 0	0.013 8
57	1	0	1	0	0.293	0.333	0	1	1	1	0	0	1.012 4	1.038 3	1.027 1	0.073 7	0.076 4
58	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0.097 3	0.025 3	0.098 1	0.068 8	1.050 4
59	1	0	1	0.333	0	0	0	1	1	1	0	0	0.937 5	1.042 4	1.077 4	0.035 9	0.169 8
60	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1.072 8	1.014 3	1.017 5	0.069 9	1.012 1

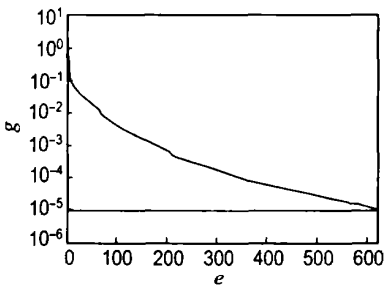

图 6 网络训练次数与误差曲线

Fig. 6 Network training times and error curve

产品知识间的关联,对设计过程中的知识进行有效管理. 建立设计过程与产品知识间的关系,更重要的意义在于能够将已有的这种关系应用于新的设计任务预测中,为新任务的完成快速提供所需的知识. 为了验证这一目的,在网络训练完之后,重新输入新的 8组数据,用训练好的网络来预测新的任务,验证网络的泛化能力. 预测数据和输出结果如表 4所示. 从表 4中可以看出,经网络输出的预测结果与期望结果十分吻合,即网络的泛化能力较好,说明由上述训练好的网络模型能够很好地适应于新的设计要求,从而实现新设计任务过程中知识的主动推送.

表 4 预测数据、网络输出结果及期望值

Tab. 4 Predicting data, actual outputs and expectation outputs

样本序号	预测输入样本							网络输出值					期望输出值				
	可调性	体积	厚度	宽度	材料	线速度	造价	传动方式	轴承类型	下压装置	动力类型	取板方式	传动方式	轴承类型	下压装置	动力类型	取板方式
1	0	1	0.2	0	0.293	0	0	0.968 4	0.967 9	1.010 2	1.000 2	0.011 6	1	1	1	1	0
2	0	1	0	0.444	0.293	0.333	0	1.005 0	1.005 2	1.055 7	0.993 7	0.968 5	1	1	1	1	1
3	0	0	0.4	0.111	1	1	1	1.064 7	1.066 3	1.034 5	0.990 2	0.057 3	1	1	1	1	0
4	0	0	0.8	0.555	0	1	1	0.034 9	0.034 6	1.057 2	0.984 3	1.021 9	0	0	1	1	1
5	0	0	1	1	1	0.333	0	0.098 0	0.098 2	0.144 6	0.997 8	0.964 3	0	0	0	1	1
6	0	1	0.6	1	1	0.333	1	0.054 3	0.055 2	0.066 1	1.001 4	0.989 5	0	0	0	1	1
7	1	1	0.8	0	0.293	0.333	0	0.998 1	0.998 1	1.004 8	0.015 8	0.010 7	1	1	1	0	0
8	1	0	1	0.222	0	0	0	1.007 2	1.007 4	1.004 2	0.001 4	0.006 8	1	1	1	0	0

4 结 论

支持产品设计全过程中知识获取的有效途径是建立设计过程与产品知识间的关联. 设计过程中所需的各种知识大多存储在知识库或知识仓库体系结构中,本文引入设计仓库概念,通过建立产

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

品知识模型,将设计仓库中的知识进行合理组织. 产品知识模型以产品结构树为组织核心,将与设计相关的各种知识通过产品配置系统与产品结构建立关联. 因而要建立设计过程与产品知识间的关联,关键是建立设计过程与产品结构间的关系. 通过采用人工神经网络,根据不同设计阶段的设计要求,建立各阶段的神经网络模型,从而建立起设计过程的不同阶段与其相应结构间的关联关系,并以卷板机的总体方案设计过程为例,设计了 2层结构的 BP网络模型,建立了该产品的方案设计过程与其结构间的关系,验证了网络的泛化能力,很好地说明了采用人工神经网络方法建立设计过程与产品结构间关系的有效性. 通过设计人工神经网络模型,建立产品设计过程与产品结构间关系,实现设计过程对产品知识的获取,为设计过程中知识的准确获取和新设计任务的快速完成提供了一种有效方法.

参考文献:

[1] HUMANG S H, HAO Xing, BENJAMIN M. Automated knowledge acquisition for design and manufacturing: The case of micromachined atomizer [J]. **J of Intell Manuf**, 2004(12): 377-391

[2] HON K K B, ZEINER J. Knowledge brokering for assisting the generation of automotive product design [J]. **Annals of the CIRP**, 2004, **53**(1): 159-162

[3] 谢友柏. 现代设计理论和方法的研究 [J]. 机械工程学报, 2004, **40**(4): 1-9

[4] 姜娉娉,黄克正,黄宝香,等. 产品概念创新设计中的知识获取 [J]. 制造技术与机床, 2005, **8**: 37-39

[5] 张　银,王宁生,周燕飞. 基于粗糙集的虚拟环境中知识获取方法研究 [J]. 中国机械工程, 2004, **15**(20): 1839-1842

[6] 高　伟,殷国富,成尔京. 辅助型工艺知识库组成及知识获取方法 [J]. 计算机集成制造系统, 2004, **10**(7): 843-847

[7] 谢晓文,刘书华. 基于粗糙集的计算机辅助夹具设计专家系统知识获取 [J]. 机械制造, 2006, **44**(503): 8-11

[8] 高天一. 产品设计仓库系统研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2004

[9] 谢庆生,尹　健,罗延科. 机械工程中的神经网络方法 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003

[10] SU D, WAKELAM M, JAMBUNATHAN K. Integration of a knowledge-based system, artificial neural networks and multimedia for gear design [J]. **J of Mater Proces Technol**, 2000, **107**: 53-59

[11] VYAS N S, SATISHKUMAR D. Artificial neural network design for fault identification in a rotor-bearing system [J]. **Mechanism and Machine Theory**, 2001, **36**: 157-175

[12] LIN T Y, TSENG C H. Optimum design for artificial neural networks: an example in a bicycle derailleur system [J]. **Eng Appl of Artif Intell**, 2000, **13**: 3-14

Research on approach of knowledge acquirement based on artificial neural network and supporting design process

SUN Wei*[1], YUAN Chang-feng[2], GAO Tian-yi[1], MA Qin-yi[1]

(1. School of Mech. Eng., Dalian Univ. of Technol., Dalian 116024, China;
2. Inst. of Econ. & Manage., Dalian Maritime Univ., Dalian 116026, China)

Abstract An effective approach of knowledge acquirement supporting design process is to establish the relation between design process and product knowledge. Design repository is introduced, and product knowledge model where product knowledge is organized through the product structure tree is designed. The method of artificial neural network is applied, and the models of artificial neural network according to different design phases could be designed on the basis of their design demands, so that the relation between different design phase and corresponding product structure could be established. Finally, the scheme design process of roll plate machine is taken as an example and its BP network model with two layers is designed. By training this network, the new design task is forecasted and the result is satisfactory.

Key words design process; product knowledge model; knowledge acquirement; artificial neural network

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net