

华东理工大学商学院策划
经济与管理博士论丛

知识劳动度量

——理论与应用

刘 刚 著

上海财经大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

知识劳动度量:理论与应用/刘刚著. —上海:上海财经大学出版社,
2007. 1

(经济与管理博士论丛)

ISBN 978-7-81098-780-6

I. 知… II. 刘… III. 知识经济-研究 IV. F062. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 131494 号

□ 责任编辑 李宇彤

□ 封面设计 周卫民

ZHISHI LAODONG DULIANG

知 识 劳 动 度 量

——理论与应用

刘 刚 著

上海财经大学出版社出版发行
(上海市武东路 321 号乙 邮编 200434)

网 址: <http://www.sufep.com>

电子邮箱: webmaster@sufep.com

启东市人民印刷有限公司印刷装订

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

890mm×1240mm 1/32 6.625 印张 190 千字

印数: 0 001—2 000 定价: 15.00 元

“经济与管理博士论丛”

编委会

主 编 石良平

副主编 骆守俭 范体军 金永红

编 委 (以拼音为序)

陈万思 杜伟宇 何德权 胡继灵

刘 刚 马海英 马 玲 阮永平

宋福铁 汪冬华 杨桂菊 杨洪涛

张 坚

总 序

我国用短短二十多年时间,实现了从短缺经济到“世界制造中心”的飞跃,创造了令世人瞩目的“中国经济奇迹”。然而,随着我国经济向纵深进展和全球经济一体化进程的推进,我国产品缺乏自主知识产权、附加价值低等问题逐步显现,因低端制造业所占比重过高而引发的一系列问题已经成为人们关注的热点。很显然,要实现中国经济的可持续发展,就必须改变以往粗放型经济增长方式,由投资导向阶段向创新导向阶段过渡,实现从“躯干国家”向“头脑国家”的转变,即从依赖简单制造业创造财富向依靠知识和创新创造财富转变。

与上述转变相一致的是,企业参与竞争的方式也必须改变,即从目前基于价格和品种的竞争向基于时间、基于服务和基于环保的竞争过渡。在竞争方式的转变过程中,企业迫切需要吸收新的管理思想、构建新的管理组织、学习新的管理方法。为此,企业必须抛弃原来“大而全、小而全”的管理模式,专注于自身核心能力的培育与发展,将不擅长的业务外包。也就是说,企业必须具备基于供应链的管理思想。

在经济增长方式和企业竞争方式的这种转变过程中,金融的创新日益成为重要环节。由于金融活动是一种高风险活动,因此金融改革与金融风险控制能力备受关注。20世纪70年代以来,由于受

放松管制与金融自由化、信息技术与金融创新等因素的影响,金融市场的波动性增强,金融体系的稳定性下降,金融机构、工商企业、居民甚至国家面临的金融风险日趋严重。与此同时,各国金融监管部门、各金融机构以及金融市场的参与者都孜孜不倦地探求着金融风险管理的技术与方法,金融风险管理的理论、技术、策略与工具不断发展,金融风险管理逐步成为金融管理的核心。

来自现实社会的需求推动了学术界的探索和研究。在学术界始终活跃着一批以博士为核心的年轻生力军,他们潜心钻研,从不同视角、不同层次探索各自领域的发展规律,取得了丰硕成果。华东理工大学商学院的一批年轻博士也在这些探索者之列。为了展示这些年轻博士的最新研究成果,华东理工大学商学院精心策划并隆重推出了这套“经济与管理博士论丛”。论丛共 14 本,分为以下三大系列:

第一系列的主题是“知识管理与创新”,共收录专著四本。杜伟宇博士的《从知识到创新——知识的学习过程与机制》,从认知心理学的视角,对这一领域的最新研究成果进行了系统归纳,并对如何有效管理组织中的学习、提高复杂陈述性知识的效率进行了探索。刘刚博士的《知识劳动度量——理论与应用》,创造性地将工业工程领域的先进工具应用于知识劳动度量,为解决现实中的管理难题提供了一个有效的方案。陈万思博士的《知识员工胜任力——理论与实践》则从理论与实践两个角度探讨了知识员工胜任力模型的构建问题。杨桂菊博士的《跨国公司子公司角色演化机制——子公司网络资本的分析视角》以知识在跨国公司网络组织中的储存、流动及利用为对象,研究了复杂组织的知识与创新管理问题。

第二系列的主题是“供应链管理”,共收录专著五本。胡继灵博士的《供应链的合作与冲突管理》,从合作与冲突管理的角度对供应链企业间关系展开了研究,分析了企业合作的动因和风险,阐述了合作关系维护与发展的激励机制、信任机制及信息共享机制,探讨了企业间合作中的机会主义,以及冲突的产生与管理,并对我国现阶段供应链企业间合作与冲突管理的现状及问题进行剖析,提出了相应的对策。马玲博士的《非连续创新与协同产品研发管理》,分析了面向

非连续创新的企业产品研发过程的特点和纵向协同研发的形式,研究了纵向协同产品研发过程及其中的知识创造,提出了旨在建立外部连接的扩展型研发—市场界面管理模式,探讨了基于知识门户和 Agent 技术的企业—用户协同研发信息支持系统的构建。张坚博士的《企业技术联盟的绩效评价》,分析了企业技术联盟的内在机理和演化过程,探讨了企业技术联盟内部知识共享的协同过程及其效应,提出了基于熵的企业技术联盟绩效评价体系。杨洪涛博士的《房地产开发企业客户关系管理》以房地产开发企业为研究对象,研究了企业客户关系管理中的数据仓库与数据挖掘,提出了面向客户关系管理的企业改革对策,深入剖析了供应链中的客户关系管理问题。何德权博士的《运输定价机理、模型与实践》则详细阐述了物流环节运输运价决定原理,重点分析了短期需求不确定性、对策定价、调价及不同服务产品定价的四种定价模型,并针对我国铁路运输的现状,探讨了不同时期的运价弹性系数的变化规律,为企业的供应链物流管理提供了一定的参考。

第三系列主题是“金融风险与控制”,共收录专著五本。汪冬华博士的《信用风险度量的理论模型及应用》研究了中国证券市场中由于违约而产生的一类信用风险度量的理论与模型,提出了基于违约风险的上市公司投资价值研究方法,并进一步从上市公司违约风险的角度对上市公司内在的投资价值进行研究。马海英博士的《商业银行信用风险分析与管理》全面系统地研究了古典及现代信用风险度量的模型和方法,并结合我国的实际提出了基于人工智能技术的对贷款企业进行信用风险评估的混合系统,并对该混合系统用计算机加以实现。金永红博士的《风险投资机构运作机制与风险管理》以风险资本从筹集到运作的过程为框架,研究了风险投资机构的运作机制与风险管理的安排和优化问题。宋福铁博士的《国债利率期限结构预测与风险管理》基于多因素 CIR 模型,采用卡尔曼滤波实证方法对我国国债利率期限结构进行模拟与估计,得出了一些有意义的结论。阮永平博士的《金融控股集团的风险管理》研究了金融控股集团的特殊风险,并探讨了金融控股集团的道德风险、利益冲突风

险、内部风险传染等特殊风险的生成、效应机制以及金融控股集团风险的控制和监管。

华东理工大学商学院高度重视青年教师的知识培育和创新活动,为青年教师提供了广阔的科研舞台和丰厚的科研资助。我们编辑的这套博士论丛正是商学院宽松的科研环境和青年博士智慧的结晶。这套丛书得以出版,也得到了上海财经大学出版社的大力支持。我们希望这套丛书的出版能够给读者带来经济与管理方面的最新成果,也希望读者对丛书提出宝贵意见,鞭策我们不断努力,以取得更好的成就。

华东理工大学商学院院长
“经济与管理博士论丛”主编

石良平教授

2006 年暑期

前 言

自 1996 年世界经济与合作发展组织(OECD)发表了题为《以知识为基础的经济》的报告以来,知识、知识创新、知识对经济发展的巨大作用,既受到了世界不同国家和地区政府、企业、高校的高度重视,也受到了来自不同学科和不同领域的科学家们的广泛关注,包括宏观的知识制度与政策、微观的知识体系与结构等在内的知识管理问题,都成为令人瞩目的焦点和不同学科、不同领域共同研究的新的热点。

“知识就像光,没有重量也没有形状,它可以轻易地穿越整个世界,在全球的每个角落照亮人们的生活。然而,世界上仍然有数十亿的人生活在贫穷的黑暗中。”

《世界发展报告》,1998、1999

回眸十年,我们可以看到,人们对知识规律的掌握、对知识创新的认识、对知识与经济发展关系的了解在不断深化和拓展,并且,在知识是什么,知识是以一种什么样的规律产生、转移和应用等许多方面形成了一致的看法:知识既是一种特定的精神产品,又是一种特殊的物质资源,知识与其他生产要素相比有着本质上的区别,具有其他要素不可替代的功能和价值,是经济活动中最重要的生产要素,知识

在组织中是以一种螺旋式、往复型的过程产生和转移的,这种转化是连续的、顺次的、路径依存的,前一阶段生成的产物,是下一阶段需要的反应物。

知识科学的神秘面纱正徐徐地被拉开,知识科学的神圣殿堂正渐渐地显露出她本来的面目。我们可以相信,21世纪是知识科学迅猛发展的时期,知识必将以其磅礴之势席卷全球每个角落,也注定要引起社会生产理念、人们生活方式乃至思维方式的根本性变革。

知识是一种最重要的生产要素和资源,是推动经济发展的决定力量和关键变量,这已是人们的共识。但是,知识毕竟是一种抽象的物,如果知识作为一种单独、孤立的要素,不与其他要素结合,或不通过、不借助于有形的、具体的载体,投入到经济活动和生产过程,那么,单纯的、抽象的知识实际上难以参与到经济活动和生产过程中,在这种情形下,知识的作用和价值也就无法发挥出来。知识只有与其他生产要素相结合,才能使知识效果表现出来,只有通过有形的载体加入到经济活动和生产过程中,才能发挥知识的巨大能量。

知识与劳动的结合所形成的知识劳动正是知识与其他生产要素相结合的一种基本形式。知识与劳动的结合体现在知识与劳动者、知识与劳动对象、知识与劳动工具三个方面的结合。

从劳动者角度看,劳动者素质和技能的提高,实际上就是劳动者所掌握的知识在不断增加、所达到的知识水平在不断上升。在劳动过程中,劳动者也在不断地运用自己所掌握的技能 and 技巧知识、所积累的经验 and 惯例知识,处理各种各样的问题。知识与劳动者的结合是知识生来就具有的一种天然本性。

知识与劳动对象也有着天然的结合,这种结合从宏观上看导致了劳动对象数量规模的扩大以及劳动对象质量内涵的不断提高。劳动对象已经从早期的以自然资源为主,逐步过渡到了以人工材料、合成材料、复合型材料为主,进而向智能化材料、纳米材料方向发展。在劳动对象转变的过程中,知识无疑起到了巨大的催化作用。

知识与劳动工具可谓是一对孪生兄弟,二者之间相伴相生、相互依存、相互促进,甚至可以说自从有了劳动工具,就有了知识,人类的

知识是从对劳动工具的发明、使用和制造开始的。从劳动工具的发展史看,几乎每一次劳动工具的重大改进,都必然带来知识的重大发现;从知识的发展历程看,几乎每一轮知识的重大进展,也都必然伴随着劳动工具的重大发明。

基于上述分析,我们很容易地看出,知识与劳动的结合已经成为知识发挥巨大作用和重要价值的主要途径之一。另一方面,我们又可以看到,在现代企业的生产过程中,体力劳动所占的比重越来越小,知识劳动所占的比重越来越大,知识劳动已经成为现代劳动中的基本形式之一。

本书的主要目的是分析知识劳动、知识劳动过程、知识劳动过程的特性,尝试性地对知识劳动度量进行探索,试图从以下四个方面展开:

- 知识劳动度量理论;
- 知识劳动度量方法;
- 知识劳动度量理论与方法的应用;
- 知识劳动度量系统。

在知识劳动度量理论研究方面,本书首先分析了劳动度量的基本理论与方法,在此基础上,以知识劳动过程的三要素为分析对象,研究了知识劳动过程的三要素特性和知识劳动过程的复杂性,提出了面向过程基于知识数量的知识劳动度量和面向对象基于知识处理的知识劳动度量的两种基本思想。

在知识劳动度量方法研究方面,根据知识劳动度量的两种基本思想,引入工业工程、模糊集、知识工程、神经网络等理论,研究了面向过程基于知识数量的知识劳动度量方法和面向对象基于知识处理的知识劳动度量方法。

在应用研究方面,基于已建立的知识劳动度量理论与方法,选择工程设计劳动作为应用研究的对象,分别建立了面向工程设计劳动过程基于知识数量的劳动度量模型,以及面向工程设计劳动对象基

于知识处理的劳动度量模型,并给出模型应用的实例分析。

在度量系统方面,研究了系统的组成和结构及各功能模块之间的作用和相互联系。

本书的内容共有八章。

前言 概述知识与知识劳动,提出本书要研究的内容和研究内容的框架结构,给出本书的章节安排。

1 劳动度量理论概述 阐述劳动度量的概念、劳动度量的尺度、劳动度量的原理和劳动度量的意义及劳动度量的基本方法。

2 知识劳动度量的理论基础 简述模糊集合论的基本理论,包括模糊集合论的基本概念、模糊集的运算、模糊集的隶属度、模糊逻辑与推理、模糊综合评判等;概述知识工程的基本内容,主要陈述知识表示的基本方法,如谓词逻辑的知识表示方法、产生式规则的知识表示方法、语义网的知识表示方法、特性表的知识表示方法、直接或模拟的知识表示方法、知识表示的模糊方法等;分析人工神经元模型、人工神经网络的学习规则、人工神经网络模型和人工神经网络的应用。

3 知识劳动度量理论 分析知识劳动及其基本特点,知识劳动与脑力劳动的异同、知识劳动度量的现状和困境,在此基础上,研究了知识劳动过程及其三要素特性,提出面向过程基于知识数量的知识劳动度量、面向对象基于知识处理的知识劳动度量的基本思想。

4 知识劳动度量方法 基于知识劳动度量理论,引入树形图原理和模糊集理论、神经网络方法,建立了面向过程基于知识数量的劳动度量方法,应用模糊逻辑的知识表示技术和神经网络的知识处理方法,建立了面向对象基于知识处理的劳动度量方法。

5 知识劳动度量理论与方法的应用——工程设计劳动度量模型

以工程设计劳动为应用对象,研究了工程设计过程的分解与展开和工程设计过程的知识数量,建立了面向过程基于知识数量的工程设计劳动度量模型、研究工程设计对象的模糊知识表示结构模型、应用神经网络的知识处理方法,建立了面向对象基于知识处理的工程设计劳动度量模型。

6 工程设计劳动度量模型的应用实例 分别以虾体分级机和椅子的设计为例,给出面向过程基于知识数量的工程设计劳动度量模型和面向对象基于知识处理的工程设计劳动度量模型的应用分析。

7 知识劳动度量系统 给出度量系统设计思想和度量系统的组成与结构,研究了系统中样本采集子系统、度量模型子系统、模型数据库子系统、度量子系统的结构框架与数据流程图。

8 结束语 给出两种知识劳动度量理论与方法的特点比较分析,做出进一步研究的展望。

目 录

总序	(1)
前言	(1)
1 劳动度量理论概述.....	(1)
1.1 劳动度量的基本理论.....	(1)
1.2 劳动度量的基本方法.....	(6)
1.3 劳动度量的意义.....	(16)
2 知识劳动度量的理论基础.....	(18)
2.1 工业工程.....	(18)
2.2 模糊集.....	(21)
2.3 知识系统工程.....	(45)
2.4 人工神经网络.....	(57)
3 知识劳动度量理论.....	(82)
3.1 知识及其特性.....	(82)
3.2 知识劳动者与知识劳动.....	(86)
3.3 知识劳动度量的现状与困境.....	(90)

3.4	知识劳动度量的途径.....	(95)
3.5	知识劳动度量的基本思想	(100)
4	知识劳动度量方法	(105)
4.1	面向过程基于知识数量的知识劳动度量方法	(105)
4.2	面向对象基于知识处理的知识劳动度量方法	(109)
5	知识劳动度量理论与方法的应用——工程设计劳动 度量模型	(112)
5.1	工程设计劳动特性	(112)
5.2	面向过程基于知识数量的工程设计劳动度量模型 ...	(112)
5.3	面向对象基于知识处理的工程设计劳动度量模型 ...	(130)
6	工程设计劳动度量模型的应用实例	(138)
6.1	面向过程基于知识数量的工程设计劳动度量 模型应用	(138)
6.2	面向对象基于知识处理的工程设计劳动度量 模型应用	(156)
7	知识劳动度量系统	(164)
7.1	知识劳动度量系统概述	(164)
7.2	度量系统的组成与结构	(166)
8	结束语	(172)
8.1	知识劳动度量理论与方法的特点	(172)
8.2	研究展望	(176)
	附录.....	(178)
2	参考文献.....	(185)

1 劳动度量理论概述

1.1 劳动度量的基本理论

1.1.1 劳动

劳动是人们将自身的能量以一定的方式直接或通过媒介间接地作用于某种确定对象的实践活动,是一种有目的的活动。劳动的目的就是使确定的对象转变成人们预想的状态,以满足人们生活和生产的需要。

在劳动中,劳动的主体是劳动者,劳动者作用的对象,叫做劳动对象,劳动对象既可以是物质的,也可以是精神的,既可以是具体的,也可以是抽象的。劳动对象对劳动者的作用所产生的效应总和,即劳动对象的变化量,叫做劳动效果。

劳动一般都具有有序性。在劳动初期,劳动者总是先根据劳动对象转变成劳动效果的要求,对劳动方法、劳动程序、劳动对象的变化及劳动对象变化的最终状态与形式进行思维、推理和分析,在确定了相应的劳动程序、劳动方法之后,才开始运用劳动工具,采用拟订的方法,按照设计的程序和步骤,作用在劳动对象上,使劳动对象沿着预定的顺序发生变化与运动,并转变成预想的劳动状态。从劳动

者的思维、推理开始,到劳动对象转变成为预想的、最终的状态为止,所发生的一切与之相联系的活动,称为劳动过程。

1.1.2 劳动质量与数量

人类生存与发展涉及劳动与生活两个方面,是劳动与生活的统一体。劳动与生活相互联系、相互作用、相辅相成,劳动的目的是为了生活,生活的结果使劳动得以延续,劳动与生活的相互支撑与依赖,共同促成了人类的生存、延续与发展。

从劳动的形式上看,人类劳动的具体形式是多种多样的,既有以体力消耗过程为主的体力劳动,又有以大脑思维过程为主的脑力劳动,而且,无论是在以体力消耗过程为主的体力劳动中,还是在以大脑思维过程为主的脑力劳动中,脑力消耗与体力消耗的比例也存在着很大的不同,有着多个不同的比例值,这个比例值甚至是无限的、连续的,因而构成了人类具体劳动的多样性。

然而,在各种各样的具体劳动中,从本质上看,主要有两类信息的区别:一类是劳动质量方面的信息,包括劳动的复杂程度、劳动的繁重程度和劳动强度等;另一类是劳动数量方面的信息,即劳动量。

1.1.3 劳动度量

在多种多样的劳动中,劳动质量与劳动数量之间相互联系、相互制约,不能割裂。劳动质量的提高会对劳动数量产生正的效应,如技术进步会使劳动质量提高,同时也会使劳动数量增加;劳动数量也对劳动质量产生影响,如劳动者个人的分配量与奖惩量是由劳动量决定的,分配量与奖惩量的合理与否,会影响到劳动者的劳动热情、劳动积极性和劳动创造性,从而影响到劳动质量。

劳动质量与劳动数量之间是相互作用、相互影响的,这使得对劳动质量或对劳动数量的研究产生不便。为避免受劳动质量与劳动数量之间复杂的相互作用关系的影响,在考察劳动质量时,就必须以一定的劳动数量为前提;同样在研究劳动数量时,也必须以一定的劳动质量为条件。劳动度量就是在相同的劳动质量的条件下,应用多门

学科知识、多个度量尺度及方法,度量劳动量的大小。

1.1.4 劳动度量的尺度

人类劳动具有多样性,要对多样性的劳动进行度量,就必须对劳动进行科学的抽象,寻找出多种不同劳动之间共同蕴含的特征,作为劳动度量的基础。

1.1.4.1 劳动的形态

一般来说,劳动有三种形态,分别是劳动的潜在形态、流动形态和凝固形态。劳动的潜在形态是劳动者所具备的劳动能力或工作能力,也就是劳动者自身贮备的知识、技能和体力。劳动的流动形态是劳动者在劳动过程中实际支出的劳动,是劳动者劳动能力的使用和消耗。劳动的凝固形态是劳动过程中物化在产品中的劳动,即劳动成果。

1.1.4.2 劳动度量的尺度

从理论上讲,劳动的潜在形态,只反映劳动者的劳动能力,说明劳动者具有的劳动本领和可能提供的劳动,在实际劳动过程中,这种可能提供的劳动与实际提供的劳动,可能一致,也可能不一致,这表明劳动的潜在形态不能作为判定劳动者支付劳动的依据。

劳动的流动形态是劳动者在劳动过程中劳动能力的使用和消耗,是脑力和体力的实际使用过程,可以准确地反映劳动者实际支出的劳动量。这种实际的劳动支出通常伴随着劳动者的劳动过程和劳动时间的消耗过程,因此,正如马克思劳动价值学说所论述的“劳动时间成为衡量劳动量大小的天然尺度”。不过,以劳动时间来度量劳动的大小,要考虑劳动的速度、劳动者的努力程度或劳动流动形态的有效性等因素。

劳动的凝固形态是劳动者的脑力和体力凝固到产品中的劳动,是脑力和体力的转移,通过这种脑力和体力的转移,劳动对象形成了产品或劳动成果,显然,劳动成果可以作为劳动测算的尺度。

根据劳动的流动形态和凝固形态确定的劳动时间与劳动成果度量尺度,是从抽象劳动的角度,基于劳动过程的一般特性,得到的劳

动度量尺度,也是单一的度量尺度。从具体劳动的角度分析,劳动的两种抽象形态,即流动形态和凝固形态所反映的劳动时间和劳动成果,都与生产岗位有着密切的联系,受到生产岗位诸多因素的影响,如岗位劳动强度、岗位劳动的复杂程度、岗位劳动的繁重程度、岗位劳动的环境与条件等。从生产岗位出发,通过测算或评价岗位劳动要素,既可以部分地反映劳动的流动形态,也可以部分地反映劳动的凝固形态,因此,也可以作为劳动度量的尺度,称之为要素综合尺度。

1.1.5 劳动度量的原理

不同的劳动度量尺度有不同的度量原理。因此,基于劳动度量的三类尺度,就形成了劳动度量的三种基本原理。

1.1.5.1 计件制原理

(1) 计件制原理的含义

计件制原理是一种采用劳动成果的度量尺度,通过计数劳动者在一定的时间内完成的劳动成果,来度量劳动量大小的原理。

(2) 计件制原理的应用

体力劳动是一个多动作按序重复的过程,对于每一类具体的体力劳动对象而言,将劳动对象转变为劳动成果的过程都对应一组按一定顺序排列的、满足劳动对象转变成劳动成果要求的多动作组合,在劳动过程中,体力劳动者往往要根据这些动作组合、动作要求,运用劳动工具,按照先后顺序完成这些劳动动作。劳动过程每重复一个周期,就表现为体力劳动者按照先后顺序执行这些劳动动作一次,完成一项劳动成果的加工。

体力劳动的目的是满足人们对实物性劳动成果的需求,因此,体力劳动的效果具有实体性,是直观的、有形的、具体的。劳动量蕴藏在劳动效果之中,体力劳动过程多动作按序重复的特点及体力劳动效果的直观性、有形性,使体力劳动度量并不困难,只要计数劳动者在一定时间内完成的劳动成果,就可以度量劳动者在该时间内的劳动消耗。这说明计件制原理的应用前提,是劳动过程具有短周期性,劳动效果具有直观性和有形性,因此,计件制原理只能应用于体力劳

动度量。

1.1.5.2 计分制原理

(1) 计分制原理的含义

计分制原理也采用了劳动成果的度量尺度,与计件制原理不同的是,计分制是由亲身参加劳动的经验丰富的劳动者或专家组成的评分组,通过对劳动成果或对劳动成果的影响因素进行集体评分,应用统计学方法来度量劳动量的,是一种主观劳动度量原理。

(2) 计分制原理的应用

脑力劳动主要是大脑思维、分析和推理的过程,这种大脑思维和推理活动本质上是模糊的,具有不确定性。脑力劳动的成果是人们劳动和生活中所需用的理论、方法,或是可供人们学习和效仿的事例、人物。脑力劳动的成果如果不被体力劳动者应用于生产过程、应用于产品的生产和制造,是难以体现出脑力劳动效果的。只有当体力劳动者在劳动过程中,应用和效仿这些理论、方法或所描述的事例、人物,使劳动对象发生符合目的的变化,才能见到脑力劳动的效果。因而,脑力劳动的效果具有抽象性,是间接的、无形的。脑力劳动过程的模糊性、不确定性和脑力劳动效果的抽象性,使脑力劳动度量运用计件制原理难以进行,于是人们不得不采用计分制,通过应用绩效评定技术,评定脑力劳动者完成的工作绩效或评定与工作绩效相关的因素,以分值的形式来表示劳动量的大小,因此,计分制原理主要应用于脑力劳动度量。

1.1.5.3 计时制原理

(1) 计时制原理

计时制是以劳动时间作为衡量劳动量大小的尺度,应用工作测定技术,通过测量劳动者在劳动场所完成某项作业的时间,来度量劳动量的原理。

(2) 计时制原理的应用

计时制原理与计件制、计分制原理既有联系,又有区别。对多动作按序重复的劳动过程(体力劳动)而言,计时制是通过测定完成单位劳动成果所需每一动作的持续时间,并将各动作时间值累加,来度

量劳动量大小的,其实质与计件制相同,是计件制的又一种表达形式。

对大脑思维分析的劳动过程(脑力劳动)而言,计时制与计分制截然不同,是另一种度量原理。

现代劳动的发展表明,在劳动度量方面,越来越多的原来适合采用计件制和计分制进行劳动度量的过程,越来越变得适合采用计时制。这种变化的根本原因在于现代科学技术的发展、劳动作业的流水化、劳动工具的自动化和智能化。现代劳动中所使用的劳动工具,在研制时就要求把劳动者的劳动强度按照劳动生理学、劳动卫生学和人机工程学的要求,限制在一个具体的范围内。劳动工具研制和设计的这种指导思想,使从事各种不同劳动的劳动者,在单位时间内完成的劳动量趋近相等,因而促成了计件制、计分制向计时制的趋同,使计时制在体力劳动和脑力劳动度量中都得到了应用。

1.2 劳动度量的基本方法

不同的度量原理,有不同的度量方法,如果采用劳动时间度量尺度,那么,一般是应用工作测定(Work Measurement)技术来确定时间值;如果采用劳动成果度量尺度,通常是对劳动成果进行计数或采用直接的绩效评定(Performance Appraisal)方法,来度量劳动量的大小;如果采用要素综合度量尺度,则是以间接的岗位评定(Job Evaluation)方法,来确定不同劳动过程之间劳动量的差别。

1.2.1 基本方法概述

基于上述对劳动度量尺度的分析,劳动度量有劳动时间、劳动成果和要素综合三种度量尺度,依据这三种尺度,劳动度量有三种原理及以下四种测算方法:

1.2.1.1 工作测定的度量方法

工作测定方法是以劳动时间作为劳动度量的尺度,应用计时制原理,运用多种测定技术,为能胜任某项工作的人确定按规定的速度

和努力程度完成工作所需的时间。

1.2.1.2 计数的度量方法

该方法采用劳动成果的度量尺度,应用计件制原理,通过确定劳动者在单位时间内完成的劳动成果的数量,来度量劳动量的大小。

1.2.1.3 绩效评定的度量方法

绩效评定是以劳动成果作为劳动度量的尺度,应用计分制原理,通过对劳动者在一定时间内完成的劳动成果进行评分,以分值来度量劳动量的大小。

1.2.1.4 岗位评定的度量方法

岗位评定是对工作岗位之间进行系统地相互比较,以产生岗位劳动量等级次序的一种方法。从劳动度量的角度看,岗位评定并不完全地反映劳动成果、劳动时间或劳动的凝固形态与流动形态,即没有采用劳动成果或劳动时间的度量尺度,而是从具体岗位的劳动过程出发,对与岗位劳动消耗相关的因素,如劳动强度、劳动责任、劳动技能和劳动环境等因素进行综合评价,通过对各因素赋予一定的权重值,然后以综合的评价分值,来表示岗位劳动量之间的差别,采用的是要素综合评定尺度和计件制原理。

劳动度量方法的分类情况见图 1.1。

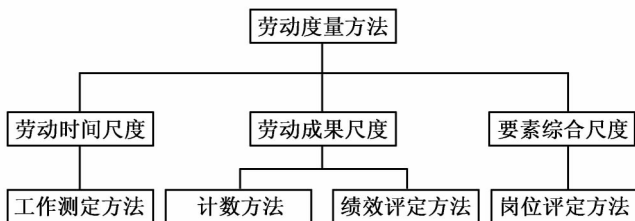


图 1.1 劳动度量方法分类

1.2.2 工作测定方法

工作测定方法包括估工(Estimating)、作业测时(Work Timing)和预定动作—时间(Predetermined Motion-Time System, PMTS)三种方法。

1.2.2.1 估工法

估工是一种最快捷和最粗略的工作时间测定方法。第二次世界大战以前,估工法由于主要依赖于人的经验,存在着客观性差、估计时间误差大等缺陷,而逐渐被人们所舍弃。

第二次世界大战以后,估工法有了很大的发展,并且,作为传统估工法改进型的分析估工法(Analytical Estimating, AE)、比较估工法(Comparative Estimating, CE)先后问世。分析估工法和比较估工法是两种比较细致的方法,分析估工法是将作业分解为若干要素,然后再对每一要素进行估工。比较估工法则通过建立若干典型工作的时间基准,再将要研究的工作与所建立的时间基准进行比较来估工。

20 世纪 70 年代,在比较估工法的基础上,又延伸出分类估工法(Category Estimating)。分析估工、比较估工和分类估工等改进型的估工方法,在一定程度上消除了传统估工法所固有的精度低、误差大的缺陷,而又保留了估工法本身所具有的简便、快捷、费用较低的特点,因而,估工法作为工作测定的技术之一仍被广泛应用。

1.2.2.2 作业测时

作业测时起源于泰勒(F. W. Taylor)的动作分析(Motion Analysis)和时间研究(Time Study)。泰勒通过对劳动者生产动作的长期观测和分析,在完成了著名的“搬铁块”、“铁锹”、“金属切削”等一系列试验的基础上,提出了“工时定额”、“标准作业法”,以寻求“一天公平工作量”的思想。之后,作业测时法得到了不断改进和完善,先后经历了整体测时、要素测时和全面测时等几个阶段。

作业测时首先是将工作分解成较小的要素,用“分隔点”(Break-Point)规定要素的开始和结束,在此基础上,对每一要素分别进行测时,得到各要素的观测时间,最后,通过对劳动者速度和努力程度的评定,将实际观测得到的时间转换为规定速度和努力程度下的基本时间。因此,在作业测时中,必须进行速度和努力程度评定。

进入 20 世纪 80 年代,作业测时研究的焦点主要集中于该技术的进一步完善和具体的实施步骤上。Susan L. 研究了美国航空航天

管理局(National Aeronautical and Space Administration, NASA)肯尼迪航天中心(Kennedy Space Center, KSC)的工程师们致力于作业测时具体化研究的情况, Susan L. 指出: KSC 的工业工程小组将工作活动分析技术等应用于作业测时研究, 他们首先对 KSC 操作人员的活动进行分解, 然后将其工作活动整理、归纳为能构成其所有活动内容 85% 的 5 大要素, 进而测定这些要素的时间, 以确定操作人员的整个劳动时间。Rick Rutter 则以一家制药公司(Pharmaceutical Company)的药品制造过程为背景, 系统研究了作业测时的应用方法, 指出: “作业测时应用的起点, 是对一系列活动进行准确而详细的分解和描述。”

1. 2. 2. 3 预定动作—时间法

(1) 预定动作—时间法的产生

预定动作—时间法(PMTS)出现于 20 世纪 30 年代, 是工作测定中最重要的研究成果之一。吉尔布雷斯夫妇(F. B. Gilbreths)于 1924 年提出并创立的“细微动作研究”理论, 是 PMTS 技术的萌芽。之后, 吉尔布雷斯的学生西格(A. B. Segur)在进行职业训练时, 通过对影片动作的分析, 发现不同的人完成同一动作所需要的时间大体一致, 如果将作业细分为若干基本动作要素, 在求得各动作要素时间值的基础上, 就可确定出整个作业时间, 于是提出了动作—时间分析法(Motion-Time Analysis)。

(2) 体力劳动的预定动作—时间法

1945 年, 奎克(J. H. Quick)、希亚(W. J. Sheur)等人依据 PMTS 的基本原理, 提出了作业—因素法(Work-Factor, WF), WF 是第一个得到国际承认的预定动作—时间法。初期的作业—因素法由于在应用过程中需花费太多的物力和财力, 许多国家和地区的企业管理部门并不乐意接受它。后来, 由作业—因素法派生出的二级简便作业—因素法(Ready Work-Factor, RWF)和三级概略作业—因素法(Abbreviated Work-Factor, AWF)在 20 世纪 60 年代相继推出, 简便作业—因素法和概略作业—因素法, 在一定程度上克服了初期 WF 所存在的不足, 作业—因素法才被人们广泛使用。

与此同时,梅纳德(H. B. Maynard)、斯蒂基默顿(G. J. Stegemerten)和施瓦布(J. L. Schwab)等人提出了另一种预定动作—时间法,称之为方法—时间测定(Method-Time Measurement, MTM),MTM同WF一样,也是预定动作—时间中应用最广泛的方法之一。近年来,MTM又派生出方法—时间测定[2](MTM-2)和方法—时间测定[3](MTM-3)等较为粗略的方法。

(3)脑力劳动的预定动作—时间法

随着社会的不断进步和科学技术的快速发展,在美国、英国及其他一些国家,一方面,白领阶层的规模不断扩大,脑力作业的人数逐步增加;另一方面,因脑力作业时间利用率低所带来的管理成本也在不断增长,在这种社会背景和管理需要的驱使下,脑力作业测定受到了人们广泛的关注和深入的研究。

①脑力作业的预定动作—时间

1959年,针对脑力作业周期长、变化大的特点,美国沃法克公司(Wofac Company)率先提出了一种能够适应脑力作业快速多变性特点的方法——多变因素程序法(Variable Factor Program, VFP)。VFP的基本思想是,根据所研究作业的类型和工作的重要程度,选择相应的测时方法,包括观测时间、RWF或AWF、全面测时等。

1967年,沃法克公司又推出了一种基于PMTS技术的沃法克脑力—作业因素法(Wofac Mento-Factor System, WMFS)。WMFS是在奎克的指导下,从40年代开始持续了20年的一项研究。这种方法在1967年经过现场试验趋于完善,并在美国无线电股份有限公司、菲利普汽车有限公司等多家企业,获得了成功的应用。WMFS为脑力作业确定了包括目光移动、目光注视、看、神经传导、辨别、估量、认出、决定、记忆、回忆、计算、证实、换算和转移注意力等14项要素在内的工作要素系统,是一种为脑力活动确定基本作业时间的复杂的综合性方法。

20世纪50年代中期,美国洛克希德公司、波音公司将小组能力评定技术引入到办公室、小组等集体作业的劳动时间确定中,认为许多办公室工作人员和其他有直接联系的作业小组,其工作关系主要

依赖于由产品或文件形成的流水作业线,劳动时间的确定应限制在流水线上相当少的关键位置上,在这些位置上的劳动时间之和就是小组的作业时间。

②局部脑力作业的时间数据

在初期的脑力作业测定技术研究中,研究者们往往不恰当地强调测定数据的精度,而忽视了脑力作业的长周期性和不重复性、测定数据的有效性与可应用性,这使得预定动作—时间研究方法在脑力作业的应用曾一度陷入困境。后来人们逐渐认识到这一点,对预定动作—时间方法进行了改进,采用综合分析的方法,建立了适用于局部范围或专门使用的粗略数据。这些数据大致有以下几类:

- 梅纳德(H. B. Maynard)、艾肯(W. Aiken)和刘易斯(J. F. Lewis)为梅纳德公司专门研究和设计的办公室通用管理数据(Clerical Universal Management Data)。

- 伯恩、克罗桑(R. M. Crossan)和南斯(H. W. Nance)为伯恩公司设计的办公室主要工作人员数据(Master Clerical Data)。

- 办公室工作人员作业数据(Clerical Work Data)。

- 澳大利亚预定动作—时间方法研究协会建立的莫道普茨办公室管理数据。

- 英国方法—时间测定协会研究制定的 MTM 办公室数据。

- 斯克特公司根据牟利根(P. B. Mulligan)标准,研究制定的办公室工作人员作业改进程序法(Clerical Work Improvement Program)。

粗略数据的局部通用性,给劳动过程中脑力作业的测算带来了方便,在以后的工作分析中,工作人员只需从有关的数据表中提取适当的时间,并将它们汇总和修正就可以得到整个工作的基本时间。

1.2.2.4 工作测定方法的比较

三种工作测定技术在测定成本和测定精度方面,具有不同的特点:

(1)估工法

一般来说,估工法所需要的费用少,得到的时间数据精度低,但

操作简便快捷。

(2) 预定动作—时间法

PMTS 技术是首先利用高速摄影机、转筒记录仪等装置对作业方法进行记录,然后进一步研究这些记录,最后得出各种各样的预定动作时间系统。预定动作时间系统从设计实施到最后完成,花费时间长,且需要高昂的编制与维持费用,但在应用过程中,可省去直接测定并可预先综合出标准工时。因此,预定动作—时间法所需要的费用高、操作复杂、难度大,但得到的数据精度高。

(3) 作业测时

作业测时在所需费用、数据精度和操作方面,介于估工法和预定—动作时间法之间。

Royal 和 Dossett 研究了这三种不同的工作测定技术,认为不同的工作测定技术适用于工作时间长短(Long or Short)、工作重复性(Repetitive)和多变性(Variable)不同的作业。Bruce Gowan 进一步强调,选择工作测定技术,要考虑工作测定所需要的精度(Required Precision)、工作周期时间长短(Cycle Time)、工作要素的类型(Element Types)和工作测定中增加的费用(Value-add Content)及工作的紧迫性(Urgency)等因素。图 1.2 表示了工作测定方法的组成。

1.2.3 工作绩效评定的度量方法

工作绩效评定是通过对劳动者在一定时间内完成的劳动成果的数量和质量进行评定,进而以分值来表示和描述劳动量的大小,是劳动度量的一种有效方法。

先期的工作绩效评定只面对劳动者个人因素和劳动成果本身因素,后来与工作绩效有关的因素也被列入到评定的范畴,评定的范围扩大了,并发展成基于图解/特征的评分模式、基于行为的评定模式和基于产出的评定模式。

1.2.3.1 基于图解/特征的评分模式

该模式是根据若干工作特征或若干与工作绩效相关的特征,采用极端范围之间的离散尺度做出评定。

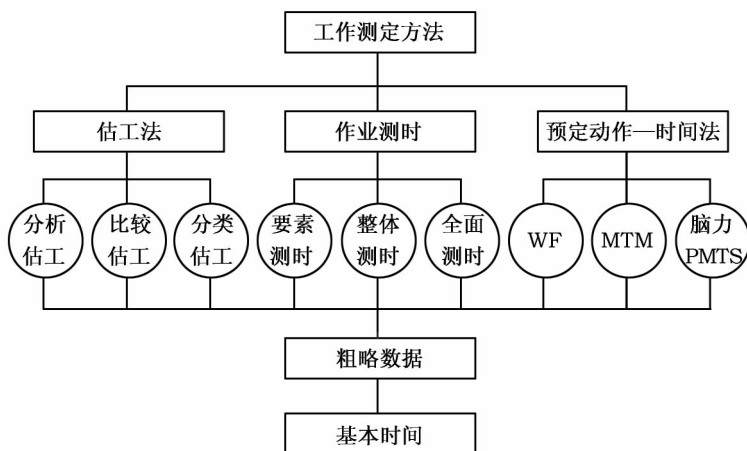


图 1.2 工作测定方法的组成

1.2.3.2 基于行为的评定模式

该模式有三种评定尺度：

(1) 行为锁定评定尺度

行为锁定评定尺度 (Behaviorally Anchored Rating Scale, BARS) 首先对被评定者的行为进行分析, 选择最能代表被评定者工作绩效的行为项, 并将行为项的样本归类, 然后, 再评定各类行为的分值。

(2) 混合标准评定尺度

混合标准评定尺度 (Mixed Standard Scale, MSS) 采用工作分析中的关键事件法, 将多个不同的工作行为, 分别锁定在不同的评定尺度上。一个 MSS 模式由三段陈述组成, 每个陈述分为高、中、低三级水平, 评定者以“优于”、“等于”、“低于”尺度项所描述的工作行为进行评定。

(3) 行为观察尺度

行为观察尺度 (Behaviorally Observation Scale, BOS) 首先以数字形式描述每个工作行为发生的频率, 以减少样本的数目, 提高评定的可靠性, 然后, 对每个已确定的工作行为, 采用独立评定的方法来

完成。

1.2.3.3 基于产出的评定模式

基于产出的评定模式,并不注重产生工作绩效的行为,而只考虑工作绩效的产出,评定模式包括绝对评定方式和相对评定方式两种。

绝对方式通常以客观的、非人为的数据来评定,相对方式则以实际产出与工作绩效标准的比值来评定。

20 世纪 70 年代以后,绩效评定研究主要集中于建立绩效评定的社会/认知模型,以试图减少工作绩效评定中的误差。绩效评定的社会/认知模型研究结果表明:绩效评定的精度既取决于评定者的动机、能力和评定规范等,也取决于评定者的信息处理能力。韦伯(Weeb L. K.)和克雷尔(Kleiner B. H.)特别强调工作评定法与企业环境的关系,指出各公司都是在不断变化的外部环境中工作,评定指标和标准的设计,要考虑到每一家公司的特点。

图 1.3 是工作绩效评定方法的分类情况。

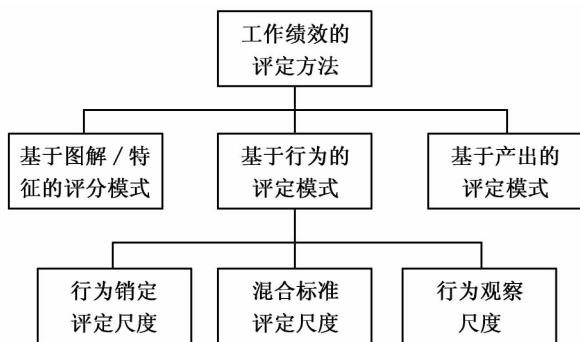


图 1.3 工作绩效评定方法的分类

1.2.4 工作岗位评定的度量方法

第一个正式的岗位评定,是 1871 年由美国公务员委员会引入的。1923 年,美国政府通过的分类法案中,应用了岗位评定技术。20 世纪 30 年代末期,A. L. 科雷斯为美国电器制造商协会和全国金

属行业协会开发了两个著名的评定计划,在这两个计划中,科雷斯采用了简单的技能、责任、努力和工作条件等 4 个因素来评定岗位,计划获得了成功的应用。1968 年,英国大约有 1/4 的雇员被岗位评定计划所覆盖。

随后的几十年,岗位评定技术得到了迅速发展,到 1990 年,美国 and 英国的大多数企业都采用了岗位评定技术。我国在 80 年代也开展了大规模的岗位评定工作,许多企业根据自身的生产实际和岗位特点,建立了相应的岗位评定指标和标准及相应的岗位评定方法。

岗位评定主要有分析型和非分析型两种:

1.2.4.1 非分析型岗位评定方法

非分析型方法是以岗位整体作比较,具有操作简单、费用较低的特点,如岗位分级或分类等。

1.2.4.2 分析型岗位评定方法

分析型评定方法则采用了岗位要素之间的比较,并对每个要素分配不同的权数和分值来评定,如因素比较分析法、分数定级法以及著名的海氏导向特征图等。

(1)因素比较法

使用该方法,首先要选择关键岗位和比较因素,其他岗位通过逐个因素地和其比较而评定。这种方法复杂且费用较高。

(2)分数定级法及其改进型

这种方法是通过使用与岗位相关的因素及子因素来评定,在评定中,因素与子因素被确切定义,并被分配不同的权值,是一种目前应用较多的工作评定方法。

(3)海氏导向特征图

该方法采用了包括技术诀窍、解决问题能力和责任能力三个主要因素以及由这三个因素细化成的八个子因素来评定,各子因素按照组织规模和复杂程度,分成不同的级别和水平,是适用于评定管理和技术岗位的专门的工作评定方法。

图 1.4 是工作岗位评定方法的分类情况。

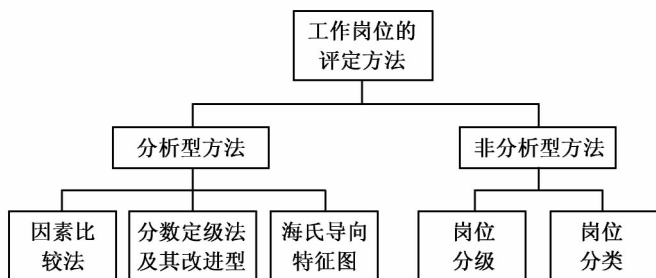


图 1.4 工作岗位评定方法的分类

1.3 劳动度量的意义

1.3.1 劳动度量的理论意义

劳动的目的是为了生活,那么,只有那些有利于人类生存的活动才是劳动;经济学是研究人类如何以最节省的方式进行劳动和生活的科学,那么,经济量应当来源于生活,根源于劳动;劳动又是生活的源泉,那么,劳动者的个人收入分配应当按照他向社会提供的劳动量为依据。因此,从有利于人类生存和发展的目的出发,科学、准确、有效地度量劳动量大小,不仅有着重要的理论价值,而且也有着深远的实际意义。前者主要为研究宏观经济领域里价值及以价值为基础的价格、产值、利润、利息等经济量,提供理论基础,后者主要表现在为微观经济领域里各种经济单位内部的劳动度量及个人收入分配与奖惩,提供可操作的系列方法。

1.3.2 劳动度量的现实意义

劳动度量是企业管理的一项基础工作,在企业生产过程中的功能主要包括:组织生产和组织分配。

任何企业的生产、经营活动都必须科学地计划,包括生产计划、劳动计划、成本计划、技术计划等。所有这些计划无一不需要以劳动

量为依据,生产计划必须以劳动量核算生产能力,安排生产进度;劳动计划必须以劳动量核算工资和奖金;成本计划必须以劳动量核算工资成本和产品价格。所以没有劳动度量,企业计划就缺乏科学依据。

按照定员组织生产,才能做到满负荷地工作,克服人浮于事、纪律松弛等现象,定员与劳动组织互为条件,而确定定员必须以劳动量为基础。所以先进合理的劳动量,是制定人员合理标准的前提。

对企业人员的劳动进行度量,可以定量考核人员的工作业绩、完成任务的多少、贡献的大小,使对他们的考核、评比、奖惩、升迁及劳动成果的分配具有数量化的标准,从而有助于合理配置和使用人力资源,改善成本管理和生产管理,提高企业管理水平和经济效益,增强企业适应能力和竞争能力。

进入 21 世纪,我国企业普遍面临着资源利用率低,质量和效益不高,产品结构不合理,环境适应性差,国际竞争力及创新能力弱,以及技术与管理脱节,特色不鲜明,产品、市场、技术等方面发展不平衡等许多问题和困境。造成这些问题的原因固然很多,其中一个重要的原因,就是企业对人员劳动等缺乏科学和有效的度量方法,无法将他们的劳动成果与他们自身的物质利益紧密地结合起来,不能充分调动企业人员的积极性、智慧和创造力。劳动度量理论与方法研究,必将有利于这些问题的最终解决,为我国企业的快速发展,进一步提高自身的核心竞争力,积极参与国际大市场的竞争,并立于不败之地,提供不竭的动力。

2 知识劳动度量的理论基础

2.1 工业工程

2.1.1 工业工程概述

工业工程(Industrial Engineering, IE)自 20 世纪初在美国被提出以来,就一直在全世界范围内受到人们的高度关注和广泛深入的研究,成为西方工业化国家提高生产效率、管理水平和经济效益的有力工具。在美国、日本、欧洲、中国香港、中国台湾和韩国等国家和地区,工业工程的学术研究氛围十分浓厚,研究成果层出不穷,应用推广活动也十分活跃,充分显示出工业工程技术旺盛的生命力。

工业工程的研究对象是由人员、物料、设备、能源、信息和环境等生产要素所构成的各种生产及经营管理系统。IE 是通过研究系统中人员、物料、设备、能源、信息等要素的有效组合与合理配置及持续改进与改善,来保证和实现系统高效运行的方法和技术。

工业工程的基本原理是系统分析和系统设计,所采用的方法是归纳、演绎、归纳与演绎交互的方法。工业工程从系统的输入与输出、内部结构与功能、外部活动与环境等不同的角度入手,以对系统的展开与分解为基础,将构成系统的要素作为应用的结合点,对系统

中人的工作、物料的传递、设施(备)的运行、能源的利用、信息的传输等多要素进行改进、改造、重组与设计,从而得到一个理想的系统,以实现系统的功能,满足系统目标的要求。

一般来说,工业工程包含基础工业工程和现代工业工程两个分支。基础工业工程主要有工作研究(Work Study, WS)、人因工程(Human Factors, HF)、设施规划与物流分析(Facilities Planning and Material-flow Analysis, FP&MA)、安全工程(Safety Engineering, ST)等。现代工业工程产生于20世纪70年代的西方发达国家,主要有企业过程再造(Business Process Reengineering, BPR)、并行工程(Concurrent Engineering, CE)、绿色制造(Green Manufacturing, GE)、遥远制造(Remote Manufacturing, RM)、智能制造(Intelligent Manufacturing, IM)、精益生产(Lean Production, LP)、敏捷制造(Agile Manufacturing, AM)、批量个体化或大规模定制式生产(Mass Customerization Production, MCP)、供应链管理(Supply Chain Management, SCM)、全球供应链(Global Supply Chain, GSC)等。

2.1.2 基础工业工程

基础工业工程研究的核心内容是工作研究(Work Study),包括方法研究(Method Study, MS)和时间研究(Time Study, TS),是工业工程中最先出现的一种技术和最基础的方法之一。工作研究力图从作业过程(Work Process, WP)出发,通过规范作业程序、作业步骤和操作、动作等,在不做资金投入或略做资金投入的情况下,实现企业生产效率、管理水平和经济效益的大幅度提高。

方法研究中包括的程序分析、操作分析、动作分析三个层次,是工作研究经常分析的内容。三个层次之间既有联系,又有区别,程序分析是对系统整体目标及整个生产过程进行的分析,是操作分析、动作分析的前提和基础;操作分析是对生产过程的基本环节——工序——所进行的分析,是程序分析的深化和延续;动作分析则是对组成操作的每个动作的基本单元——动素——所进行的分析,是操作

分析的进一步细化和深入。

程序分析是方法研究的第一步,是作业分析、动作分析的前提,只有经过程序分析,使工作程序合理化之后,才可进行操作和动作分析。

程序分析是从生产过程的角度,研究作业与作业之间的关系、改进现行的工作程序、设计新的最佳生产程序的一种技术。程序分析主要有工艺程序图、流程程序图、线程序图、组作业程序图等分析工具。

操作分析是以工序为对象,通过对工序中人的活动、机器的运转及人机之间协调的研究,以提高工序的劳动效率和生产效率。操作分析主要有人机操作分析、联合操作分析、双手操作分析等基本分析内容,操作分析所使用的工具主要有人机程序图、多动作程序图、双手操作程序图等。

动作分析是方法研究中的一种微观技术,主要以操作中人的手、眼、足等部位的动作为对象,研究操作者双手及其他部位动作的合理性、科学性,从而设计标准动作。动作分析主要包括动作要素分析、瞬时动作分析、微动作分析等内容,所采用的分析方法,包括动作目视分析技术、动作摄影分析技术。

时间研究又称为作业测定,是指对经过方法研究后所确定的标准作业,应用各种技术,确定合格人员完成标准作业所需要的时间。时间研究建立在方法研究的基础之上,是通过对工作过程所分解的、合理的、标准的工作程序、工作步骤、动作要素的时间测定,确定工作过程的标准时间消耗,进而以标准时间消耗为基础,通过考虑工作过程的一些必然时间消耗,采用宽放和评比等方法,来制定劳动定额。时间研究的主要方法有直接测定法、工作抽样法、预定动作时间标准、模特排时法。

直接测定法是利用秒表或其他计时工具,对作业进行直接连续观测、记录统计和分析计算的一种时间研究方法。

工作抽样法是运用概率论和数理统计抽样、推断的原理和程序,进行时间研究的一种方法,它的特点是随机选择样本、瞬间观察记

录,并根据抽样的局部样本数据来推断全局结果。

预定动作时间标准是在作业分析和动作分析的基础上,确定动素的标准时间进行时间研究的一种技术。预定动作时间标准法的特点是将作业分解为相应的动素,并以各动素的标准时间为基础,通过汇总及加和各动素标准时间,来计算作业的标准时间。

模特排时法是预定动作时间标准中的一种简便方法,是运用人机工程学原理,根据人体各部分有形动作所用时间的相似性,采用人体各部位有形动作时间的比值,来确定和表示动作时间的一种研究技术。

2.2 模糊集

2.2.1 模糊集合论的基本概念

自19世纪德国数学家乔治康托(George·Contor,1845—1918)创立集合论以来,集合论统一了许多似乎没有联系的数学概念和分支,已成为现代数学的重要理论基础之一。

集合是指具有某种属性的、确定的、彼此间可以区别的事物的全体。组成集合的事物称为集合的元素或元。在康托创立的集合论中,元素与集合之间的关系是属于或者不属于的关系,即通常说的“非此即彼”的关系,称为经典集合。

经典集合所表达的概念的内涵和外延是明确的、清晰的。然而在人们的思维和推理过程中,有许多没有明确外延的概念,即模糊概念,模糊概念表现在语言上有许多模糊概念的词。如以年龄为论域,那么“青年”、“中年”、“老年”等概念没有明确的外延,以人的身高为论域,那么“高个子”、“中个子”、“矮个子”等概念,也没有明确的外延,它们都被称为模糊概念。

模糊概念不能用经典集合来表达,因为论域上的元素不是绝对属于或绝对不属于模糊概念,而是介于属于和不属于模糊概念之间。

模糊性是事物客观存在的一种属性,因此,模糊性是可以描述

的,是有它自身规律可循的。1965年,美国加州大学的查德(L. A. Zadeh)教授首次提出模糊集合的概念,给出模糊概念的定量描述和分析运算方法,建立了模糊集的基本理论。1970年,别尔曼(Bellman)和查德又提出了模糊优化的概念。

近半个世纪以来,模糊集理论及其应用研究受到了人们的高度重视和关注,并在模糊综合评判、模糊决策、模糊推理、模糊识别和模糊控制等许多方面得到了深入的、系统的研究,取得了重要进展,被广泛应用于认知系统和有人参与的认知过程、决策过程分析,取得了令人瞩目的成果。

1965年,L. A. Zadeh给出的模糊集定义为:

设给定论域 U , U 到闭区间 $[0,1]$ 的任一映射 $\mu_A(x)$ 为:

$$\mu_A(x):U \rightarrow [0,1]$$

$$x \rightarrow \mu_A(x)$$

都确定 U 上的一个模糊子集 A , μ_A 称为模糊子集的隶属函数, $\mu_A(x)$ 称为 x 对于 A 的隶属度,在不致混淆的情况下,模糊子集也称为模糊集。

模糊集的定义表明,论域 U 上的模糊子集 A 由隶属函数 $\mu_A(x)$ 来表示, $\mu_A(x)$ 的取值范围为闭区间 $[0,1]$ 上的任意值, $\mu_A(x)$ 的大小反映了 x 对模糊子集的从属程度。当 $\mu_A(x)$ 的值域为 $\{0,1\}$ 时, μ_A 蜕化为一个经典子集的特征函数,模糊子集 A 蜕化为一个经典子集 A 。由此看出,经典集合是模糊集合的特殊形态,模糊集合是经典集合的推广。

2.2.2 模糊集表示与基本运算

2.2.2.1 模糊集的表示

模糊集可以有多种表示方法,常用的表达方法有以下几种:

(1)若 U 为有限集 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,则模糊集可表示为:

①序偶表示法

$$A = \{(x, \mu_A(x)) : x \in X\}$$

② Zadeh 表示法

$$\widetilde{A} = \frac{\widetilde{A}(x_1)}{x_1} + \frac{\widetilde{A}(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\widetilde{A}(x_n)}{x_n} \quad (“+”不是求和)$$

③ 向量表示法

$$\widetilde{A} = [\widetilde{A}(x_1), \widetilde{A}(x_2), \dots, \widetilde{A}(x_n)]$$

(2) 若 U 为有限连续域, 则模糊集可以表示为:

$$\widetilde{A} = \int \widetilde{A}(x) / x \quad (“\int”不表示积分)$$

2.2.2.2 模糊集的基本运算

(1) 设 $\widetilde{A}, \widetilde{B}$ 为论域 U 上的两个模糊集, 对于 U 中的每一个元素 x , 都有 $\mu_{\widetilde{A}}(x) \geq \mu_{\widetilde{B}}(x)$, 则称 $\widetilde{A}$ 包含 $\widetilde{B}$, 记作 $\widetilde{A} \supseteq \widetilde{B}$ 。

(2) 如果 $\widetilde{A}, \widetilde{B}$ 为论域 U 上的两个模糊集, 且 $\widetilde{A} \supseteq \widetilde{B}, \widetilde{B} \supseteq \widetilde{A}$, 则称 $\widetilde{A}$ 与 $\widetilde{B}$ 相等, 记作 $\widetilde{A} = \widetilde{B}$, 或 $\mu_{\widetilde{A}}(x) = \mu_{\widetilde{B}}(x)$ 。

(3) 设 $\widetilde{A}, \widetilde{B}$ 为论域 U 上的两个模糊集, 称 $\widetilde{A} \cap \widetilde{B}$ 为 $\widetilde{A}$ 与 $\widetilde{B}$ 的交集, 其隶属函数为:

$$\mu_{\widetilde{A} \cap \widetilde{B}}(x) = \mu_{\widetilde{A}}(x) \wedge \mu_{\widetilde{B}}(x)$$

(4) 设 $\widetilde{A}, \widetilde{B}$ 为论域 U 上的两个模糊集, 称 $\widetilde{A} \cup \widetilde{B}$ 为 $\widetilde{A}$ 与 $\widetilde{B}$ 的并集, 其隶属函数为:

$$\mu_{\widetilde{A} \cup \widetilde{B}}(x) = \mu_{\widetilde{A}}(x) \vee \mu_{\widetilde{B}}(x)$$

(5) 设 $\widetilde{A}, \widetilde{B}$ 为论域 U 上的两个模糊集, 称 $\widetilde{A}^c$ 为 $\widetilde{A}$ 的补集, 其隶属函数为:

$$\mu_{\widetilde{A}^c}(x) = 1 - \mu_{\widetilde{A}}(x)$$

式中: “ $\wedge$ ”、“ $\vee$ ”表示取大、取小运算, 称为 Zadeh 算子。

(6) 称 $\widetilde{A} \cdot \widetilde{B}$ 为模糊集合 $\widetilde{A}$ 和 $\widetilde{B}$ 的代数积, $\widetilde{A} \cdot \widetilde{B}$ 的隶属函数为:

$$\mu_{\widetilde{A} \cdot \widetilde{B}}(x) = \mu_{\widetilde{A}}(x) \cdot \mu_{\widetilde{B}}(x)$$

(7) 称 $\widetilde{A} + \widetilde{B}$ 为模糊集合 $\widetilde{A}$ 和 $\widetilde{B}$ 的代数和, $\widetilde{A} + \widetilde{B}$ 的隶属函数 $\mu_{\widetilde{A} + \widetilde{B}}(x)$ 为:

$$\mu_{\widetilde{A+B}}(x) = \begin{cases} \mu_{\widetilde{A}}(x) + \mu_{\widetilde{B}}(x), & \mu_{\widetilde{A}}(x) + \mu_{\widetilde{B}}(x) < 1 \\ 1, & \mu_{\widetilde{A}}(x) + \mu_{\widetilde{B}}(x) > 1 \end{cases}$$

(8) 称 $\widetilde{A \oplus B}$ 为模糊集合 $\widetilde{A}$ 和 $\widetilde{B}$ 的环和, $\widetilde{A \oplus B}$ 的隶属函数为:

$$\mu_{\widetilde{A \oplus B}}(x) = \mu_{\widetilde{A}}(x) + \mu_{\widetilde{B}}(x) - \mu_{\widetilde{A} \cdot \widetilde{B}}(x)$$

2.2.3 模糊集的基本性质

(1) 幂等律 $\widetilde{A \cup A} = \widetilde{A},$

$$\widetilde{A \cap A} = \widetilde{A}$$

(2) 交换律 $\widetilde{A \cup B} = \widetilde{B \cup A},$

$$\widetilde{A \cap B} = \widetilde{B \cap A}$$

(3) 结合律 $\widetilde{(A \cup B) \cup C} = \widetilde{A \cup (B \cup C)},$

$$\widetilde{(A \cap B) \cap C} = \widetilde{A \cap (B \cap C)}$$

(4) 分配律 $\widetilde{(A \cup B) \cap C} = \widetilde{(A \cap C) \cup (B \cap C)},$

$$\widetilde{(A \cap B) \cup C} = \widetilde{(A \cup C) \cap (B \cup C)}$$

(5) 吸收律 $\widetilde{(A \cup B) \cap A} = \widetilde{A},$

$$\widetilde{(A \cap B) \cup A} = \widetilde{A}$$

(6) 两极律 $\widetilde{A \cup C} = \widetilde{A \cap U} = \widetilde{A}$

$$\widetilde{A \cup \Phi} = \widetilde{A \cap \Phi} = \widetilde{\Phi}$$

(7) 复原律 $\widetilde{(A^c)^c} = \widetilde{A}$

(8) 对偶律 $\widetilde{(A \cup B)^c} = \widetilde{A^c \cap B^c},$

$$\widetilde{(A \cap B)^c} = \widetilde{A^c \cup B^c}$$

2.2.4 模糊集理论

模糊集理论包括模糊集的截集与强截集

设 $\widetilde{A} \in F(U), \forall \lambda \in [0, 1],$ 记:

$$\widetilde{(A)}_{\lambda} = \{x \in U : \mu_{\widetilde{A}}(x) \geq \lambda\}$$

$$(A)_{\lambda} = \{x \in U : \mu_A(x) > \lambda\}$$

称 $(A)_{\lambda}$ 为 A 的 λ 截集, 记为 A_{λ} , 称 $(A)_{\lambda}$ 为 A 的 λ 强截集或开截集, 记为 $\widetilde{A}_{\lambda}$ 。

A_{λ} 或 $\widetilde{A}_{\lambda}$ 都是 U 上的普通集, 若 $\lambda_2 \geq \lambda_1$, 则有 $A_{\lambda_2} \subset A_{\lambda_1}$

截集与强截集的性质:

$$(1) (A \cup B)_{\lambda} = A_{\lambda} \cup B_{\lambda}, (A \cap B)_{\lambda} = A_{\lambda} \cap B_{\lambda}$$

$$(2) (\widetilde{A} \cup \widetilde{B})_{\lambda} = \widetilde{A}_{\lambda} \cup \widetilde{B}_{\lambda}, (\widetilde{A} \cap \widetilde{B})_{\lambda} = \widetilde{A}_{\lambda} \cap \widetilde{B}_{\lambda}$$

$$(3) (\bigcup_{t \in T} \widetilde{A}_t)_{\lambda} \supset \bigcup_{t \in T} (\widetilde{A}_t)_{\lambda}$$

$$(4) (\bigcup_{t \in T} \widetilde{A}_t)_{\lambda} = \bigcup_{t \in T} (\widetilde{A}_t)_{\lambda}$$

$$(5) (\bigcap_{t \in T} \widetilde{A}_t)_{\lambda} = \bigcap_{t \in T} (\widetilde{A}_t)_{\lambda}$$

$$(6) (\bigcap_{t \in T} \widetilde{A}_t)_{\lambda} \supset \bigcap_{t \in T} (\widetilde{A}_t)_{\lambda}$$

$$(7) A_{\lambda} \subset A_{\lambda}$$

$$(8) \text{若 } \lambda \leq \eta, \text{ 则 } A_{\lambda} \supset A_{\eta}, A_{\lambda} \supset A_{\eta}$$

$$(9) A(\bigvee_{t \in T} \lambda_t) = \bigcap_{t \in T} A_{\lambda_t}$$

$$(10) A(\bigvee_{t \in T} \lambda_t) = \bigcap_{t \in T} A_{\lambda_t}$$

$$(11) (\widetilde{A^c})_{\lambda} = (\widetilde{A_{\frac{1-\lambda}{\lambda}}})^c$$

$$(12) (\widetilde{A^c})_{\lambda} = (\widetilde{A_{1-\lambda}})^c$$

$$(13) \widetilde{A_0} = U, A_1 = \Phi$$

模糊集的模与支撑

设 $A \in F(U)$, 称 A_1 为 A 的核, 记作 $\text{Ker } A$:

$$\text{Ker } A = \{x \in U : \mu_A(x) = 1\}$$

称 A_0 为 A 的支集或支撑, 记作 $\text{Supp } A$:

$$\text{Supp } A = \{x \in U : \mu_A(x) > 0\}$$

2.2.5 模糊集的分解定理

2.2.5.1 模糊集的数乘及其性质

分解定理是模糊集的基本定理之一, 反映了模糊集合与经典集

合之间的关系,提供了由经典集合构造模糊集合的方法。

(1) 模糊集为数乘

设 $\lambda \in [0, 1]$, $A \in F(U)$, 由 λ, A 构造一个新的模糊集合, 记作 λA , 其隶属函数为:

$$\lambda A(x) = \lambda \wedge A(x), \forall x \in U$$

称 λA 为数 λ 与模糊集合 A 的数乘

(2) 数乘有下列性质

① 若 $\lambda_1 \leq \lambda_2$, 则 $\lambda_1 A \subset \lambda_2 A$

② 若 $A \subset B$, 则 $\lambda A \subset \lambda B$

2.2.5.2 模糊集的分解定理

(1) 分解定理 I

设 $A \in F(U)$, 则

$$A = \bigcup_{\lambda \in [0, 1]} \lambda A_\lambda$$

推论 1 若 $A \in F(U)$, $\forall x \in U$, 则 $A(x) \vee \{\lambda : x \in A_\lambda\}$

推论 2 $A \subset B$, 则 $\forall \lambda \in [0, 1], A_\lambda \subset B_\lambda$

$A = B$, 则 $\forall \lambda \in [0, 1] A_\lambda = B_\lambda$

(2) 分解定理 II

设 $A \in F(U)$, 则

$$A = \bigcup_{\lambda \in [0, 1]} \lambda A_\lambda$$

(3) 分解定理 III

设 $A \in F(U)$, $\{A'_\lambda : \lambda \in [0, 1]\} \subset P(U)$ 满足

$A'_\lambda \subset A'_\mu \subset A_\lambda (\forall \lambda \in [0, 1])$, 则

① $A = \bigcup_{\lambda \in [0, 1]} \lambda A'_\lambda$

② 若 $\eta < \rho$, 则 $A'_\rho \subset A'_\eta$

③ $\lambda \neq 0$ 时, $A_\lambda = \bigcap_{\eta < \lambda} A'_\eta$

$\lambda \neq 1$ 时, $A_\lambda = \bigcap_{\eta > \lambda} A'_\eta$

2.2.6 模糊集的扩张原理

模糊集的扩张原理同分解定理一样,是模糊数学的理论支柱之一,是普通数学方法扩展到模糊数学的强有力工具。

2.2.6.1 经典扩张原理

设 X, Y 是经典集合,若给定 X 到 Y 的映射为:

$$\begin{aligned} f: X &\rightarrow Y \\ x &\rightarrow f(x) \end{aligned}$$

那么, f 可以诱导出两个映射,一个是 $P(X)$ 到 $P(Y)$ 的映射,记作 f ,一个是 $P(Y)$ 到 $P(X)$ 的映射,记作 f^{-1} ,这些映射定义如下:

$$\begin{aligned} f: P(X) &\rightarrow P(Y) \\ A &\rightarrow f(A) = \{y : \exists x \in A, y = f(x)\} \\ f^{-1}: P(Y) &\rightarrow P(X) \\ B &\rightarrow f^{-1}(B) = \{x : f(x) \in B\} \end{aligned}$$

2.2.6.2 模糊集的扩张原理

设 X, Y 为模糊集合,若给定 X 到 Y 的映射为:

$$\begin{aligned} f: X &\rightarrow Y \\ x &\rightarrow f(x) \end{aligned}$$

则可以诱导出一个 $F(X)$ 到 $F(Y)$ 的映射 f ,以及一个 $F(Y)$ 到 $F(X)$ 的映射 f^{-1} , f^{-1} 称为逆映射, f 和 f^{-1} 定义为如下映射:

$$\begin{aligned} f: F(X) &\rightarrow F(Y) \\ A &\rightarrow f(A) \\ f^{-1}: F(Y) &\rightarrow F(X) \\ B &\rightarrow f^{-1}(B) \end{aligned}$$

$f(A)$ 和 $f^{-1}(B)$ 的隶属函数分别为:

$$f(A)(y) = \begin{cases} \bigvee_{x \in f^{-1}(y)} A(x), & f^{-1}(y) \neq \Phi \\ 0, & f^{-1}(y) = \Phi \end{cases}$$

$$\underset{\sim}{f^{-1}}(\underset{\sim}{B})(\underset{\sim}{x}) = \underset{\sim}{B}[\underset{\sim}{f}(\underset{\sim}{x})]$$

2.2.7 模糊集的隶属度

隶属函数的确定,是运用模糊集合理论解决实际问题的基础,然而,从模糊集理论诞生至今的近半个世纪内,模糊集合理论还没有形成一个统一的模式用于确定隶属函数。

从本质上看,隶属函数的建立应当是客观的,但由于模糊性是依据人的主观判断来描述的,每一个人对于同一个概念的认识和理解有着较为显著的差异,对任何问题,不同的人有不同的评判标准,不可能存在对任何问题、任何人都可以采用的统一的隶属函数确定方法,因此,隶属函数的确定具有主观性。通常隶属函数的确定是根据经验或统计的方法进行,也可以采用专家调查方法给出。

隶属函数的确定方法有模糊统计法、专家经验法、参照法。

(1) 模糊统计法

在一般情况下,隶属函数可以通过模糊统计试验的方法来确定。张南伦曾对 129 名学生进行了试验,要求每个被调查者按照自己的理解,给出模糊概念“青年人”的年龄范围,共完成 129 次试验。

由于对于“青年人”这个概念理解上的差异,每个受试者个人给出的“青年人”区间不完全相同,结果如表 2.1 所示。

选取 $x=27$ 岁,对“青年人”的隶属频率为:

$$\mu = \frac{\text{包含 27 岁的区间数(隶属次数)}}{\text{调查人数}}$$

27 岁对“青年人”的隶属度值见表 2.2,从表中可以看出隶属频率大致稳定在 0.78,可以认为 27 岁对“青年人”的隶属度值为 0.78。

按照这种方法,可以计算出 15~36 岁对“青年人”的隶属频率,并确定隶属度。令隶属度为纵坐标,年龄为横坐标,在平面坐标图上连续拟合各点,便可做出隶属度函数曲线。采用同样的方法,可分别得到“中年人”、“老年人”等模糊概念的隶属度函数曲线。

表 2.1 “青年人”隶属区间的抽样调查

18~25	17~30	17~28	18~25	16~35
15~30	18~35	17~30	18~25	18~25
18~30	18~30	15~25	18~30	15~28
18~25	18~25	16~28	18~30	16~30
15~28	16~30	19~28	15~30	15~26
16~35	15~25	15~25	18~28	16~30
15~28	18~30	15~25	15~25	18~30
16~25	18~28	16~28	18~30	18~35
16~30	18~35	17~25	15~30	18~25
18~28	18~30	18~25	16~35	17~29
15~30	15~35	15~30	20~30	20~30
18~28	18~35	16~30	15~30	18~35
15~25	18~35	15~30	15~25	15~30
14~25	18~30	18~35	18~35	16~25
18~35	20~30	18~30	16~30	20~35
16~28	18~30	18~30	16~30	18~35
16~28	18~35	18~35	17~27	16~28
17~25	15~36	18~30	17~30	18~35
15~28	18~35	18~30	17~28	18~35
16~24	15~25	16~32	15~27	18~35
18~30	18~30	17~30	18~30	18~35
17~30	14~25	18~26	18~29	18~35
18~25	17~30	16~28	18~30	16~28
16~25	17~30	15~30	18~30	16~30
18~35	18~30	17~30	16~35	17~30
18~30	17~25	18~29	18~28	

表 2.2

27 岁隶属“青年人”的频率

次数	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	129
隶属次数	14	23	31	39	47	53	62	68	76	85	95	101
隶属频率	0.70	0.77	0.78	0.78	0.76	0.78	0.76	0.76	0.75	0.79	0.78	0.78

(2) 专家经验法

根据专家的实践经验和知识,也可以确定隶属度函数,这种方法称为专家经验法。郭荣江等人总结关幼波大夫的医疗经验,开发出的计算机诊断程序就采用了此方法。

设全体候诊病人为论域 U ,患有脾虚迁延性肝炎的病人为模糊子集 A , A 的隶属函数为 $\mu_A(x)$,从 16 种症状中,判断病人 x 是否患有脾虚迁延性肝炎。

16 种症状分别用 $a_1, a_2, \dots, a_{16}$ 来表示 (a_1 : GPT 异常, a_2 : $3T$, $\dots$, a_{16} : 暖气)。每一症状是一个普通集,特征函数为:

$$\mu_{a_i}(x) = \begin{cases} 1, & \text{有症状 } a_i \\ 0, & \text{无症状 } a_i \end{cases}$$

基于医学知识和专家临床经验,根据每一症状在患有脾虚迁延性肝炎中所起的作用,各赋予一定的权重系数 $w_1, w_2, \dots, w_{16}$,则 A 的隶属函数为:

$$\mu_A(x) = \frac{w_1 \mu_{a_1}(x) + w_2 \mu_{a_2}(x) + \dots + w_{16} \mu_{a_{16}}(x)}{w_1 + w_2 + \dots + w_{16}}$$

对病人 x_0 ,对 A 的隶属函数为 $\mu_A(x_0)$,如果取阈值为 λ , $\mu_A(x_0) \geq \lambda$ 时,就说此人患有脾虚迁延性肝炎,否则,称此人不患此疾病。

(3) 参照法

利用现有的一些隶属函数,通过分析、比较,根据所研究模糊概念或现象的特征,选择最能代表所研究模糊概念特性的函数来作为其隶属函数,也是解决模糊概念或现象隶属函数问题的一种有效

途径。

2.2.8 模糊逻辑与推理

逻辑(logic)来源于希腊文的 logos 一词,是关于思维及思维形式的描述之意。远在古代,人们对思维逻辑就产生了浓厚的兴趣,早在公元前 4 世纪希腊哲学家亚里士多德就创立了思维逻辑的三个基本规律,即同一律、矛盾律和排中律。

17 世纪末期,德国数学家莱布尼兹又提出了思维逻辑的充足理由律,从而组成了思维逻辑的 4 条基本规律。从莱布尼兹开始,不少科学家、哲学家和数学家,如布尔(G. Bool, 1815—1964)和罗素(B. Russell, 1872—1970)等,将数学方法引入到逻辑的研究,并且产生了数理逻辑这一学科。

由于计算机具有二值性的特点,因此基于真假 $\{0, 1\}$ 二值基础上的数理逻辑得到了迅速发展,成为电路设计和计算机科学的基础理论之一。

计算机技术所取得的成功,使人们对计算机的期望越来越高,要求计算机不但具有运算速度快、强大的信息存贮和处理能力,而且能够模拟人的思维,处理模糊性信息。然而,对模糊性信息的处理,二值逻辑具有局限性。

模糊逻辑作为二值逻辑的推广,与人的思维有着极其相似之处,自然是处理模糊性信息的强有力工具。人具有思维能力、表达能力和逻辑推理能力,人的思维、语言表达与推理具有多值性和模糊性的特点,因此,在研究有人参与的、具有思维特性的过程时,采用基于多值性特点的模糊逻辑,是解决这一问题的有效途径。

2.2.8.1 命题与二值逻辑

命题指的是一个意义明确可以分辨真假的句子,如北京是中国的首都,2 加 3 等于 5,今天天气很热等。前两个句子是真的,故称为命题,第三个句子意义难以说明热的程度,具有模糊性,不能判定绝对“真”或“假”,在二值逻辑中不能称为命题。这些命题具有一个特点,即都是单命题。把两个或两个以上的命题结合起来,就构成一个

复命题。一个命题通常用一个字母表示,如 M :他学习好, N :他身体棒,如此等等。

命题可以用连接词“或($\vee$)”、“与($\wedge$)”、“非($\neg$)”、“如果,那么($\rightarrow$)”、“当且仅当($\leftrightarrow$)”等连接起来,构成一个复合命题。一个命题的真假,称为命题的真值。若两个以上的命题构成复合命题,它们的真值计算为:

(1)若 M 为真, N 为真,则 $M \vee N$ 为真、 $M \wedge N$ 为真、 $\bar{M}$ 为假、 $\bar{N}$ 为假、 $M \rightarrow N$ 为真、 $M \leftrightarrow N$ 为真。

②若 M 为真, N 为假,则 $M \vee N$ 为真、 $M \wedge N$ 为假、 $\bar{M}$ 为假、 $\bar{N}$ 为假、 $M \rightarrow N$ 为假、 $M \leftrightarrow N$ 为假。

③若 M 为假, N 为真,则 $M \vee N$ 为真、 $M \wedge N$ 为假、 $\bar{M}$ 为真、 $\bar{N}$ 为真、 $M \rightarrow N$ 为真、 $M \leftrightarrow N$ 为假。

④若 M 为假, N 为假,则 $M \vee N$ 为假、 $M \wedge N$ 为假、 $\bar{M}$ 为真、 $\bar{N}$ 为真、 $M \rightarrow N$ 为真、 $M \leftrightarrow N$ 为真。

一个命题只取真、假二值的逻辑,称为二值逻辑,常用“1”表示“真”,用“0”表示“假”。二值逻辑运算的数学分支,称为布尔代数,也称为逻辑代数。

2.2.8.2 模糊命题与模糊逻辑

具有模糊概念的陈述句称为模糊命题,模糊命题一般采用 $A, B, C, \dots$ 表示。模糊命题是普通命题的推广,适合于人脑的思维,它的取值不仅仅是“真”、“假”,而是反映了真或假的程度,依照模糊集合中隶属函数的形式,将模糊命题的真值推广到 $[0, 1]$ 区间上的连续值。

模糊命题 A 的真值,记作:

$$\tilde{F}(A) = x, 0 \leq x \leq 1$$

$x=1$ 时,表示 A 完全真;

$x=0$ 时,表示 $\bar{A}$ 完全假;

$0 < x < 1$ 时,表示 A 真假的程度, x 接近于 1,表明真的程度大, x 接近于 0,表明真的程度小。

研究模糊命题的逻辑称为连续值逻辑,或称为模糊逻辑,是二值逻辑的推广,也是一类特殊的多值逻辑。在模糊逻辑中,真值可取区间 $[0,1]$ 上的任意值,表示模糊命题真的程度。模糊逻辑的运算规律是狄·摩根(De-Morgan)代数,也称为模糊代数。

2.2.8.3 布尔(G. Bool)代数与狄·摩根代数

一个集合 S ,若在其中定义了“或($\vee$)”和“与($\wedge$)”两种运算,且具有下列性质:

(1)幂等律 若 $\forall a \in S$,则有

$$a \vee a = a, a \wedge a = a$$

(2)交换律 若 $\forall a, b \in S$,则有

$$a \vee b = b \vee a, a \wedge b = b \wedge a$$

(3)结合律 若 $\forall a, b, c \in S$,则有

$$(a \vee b) \vee c = a \vee (b \vee c)$$

$$(a \wedge b) \wedge c = a \wedge (b \wedge c)$$

(4)吸收律 若 $\forall a, b \in S$,则有

$$(a \vee b) \wedge b = b, (a \wedge b) \vee b = b$$

则称 S 是一个格,记为 $S = (S, \wedge, \vee)$,若 S 还满足:

(5)分配律 $(a \vee b) \wedge c = (a \wedge c) \vee (b \wedge c)$

$$(a \wedge b) \vee c = (a \vee c) \wedge (b \vee c)$$

则称 S 是一个分配格。

若 S 满足(1)~(5),同时还满足:

(6)两极律 $\forall a \in S, \exists d, e \in S$,且有

$$a \vee d = d, a \wedge d = a$$

$$a \vee e = a, a \wedge e = e$$

d, e 称为 S 的最大和最小元

(7)复原律 $\forall a \in A$,则有

$$(a^c)^c = a$$

若 S 满足(1)~(7),同时满足下列两式:

(8)互补律 $\forall a \in A$,则有

$$a \vee a^c = 1, a \wedge a^c = 0$$

则称 $(S, \vee, \wedge, c)$ 是一个布尔代数。

(9)对偶律 $(a \vee b)^c = a^c \wedge b^c$

$$(a \wedge b)^c = a^c \vee b^c$$

则称 $(S, \wedge, \vee, c)$ 为狄·摩根代数。

狄·摩根代数与布尔代数的显著区别在于前者不满足互补律，在狄·摩根代数中有：

$$a \vee a^c \neq 1, a \vee a^c = \max(a, 1-a)$$

$$a \wedge a^c \neq 0, a \wedge a^c = \min(a, 1-a)$$

2.2.9 模糊语言

语言分为自然语言和形式语言，自然语言是人们在生活和工作中所使用的语言，是由一些词和字连接成的句子。人们在日常生活和工作中经常要通过自然语言来描述主客观事件、对象、概念、行为和过程以及相互之间的关系等。形式语言是一些符号按一定规则连接成的字符串，是机器指令的集合，表示机器的单元状态和机器要完成的操作。自然语言和形式语言的重要区别在于自然语言具有模糊性，形式语言具有确定性。

语言是思维和推理的表现形式，所以语言成为描述和研究这种过程的切入点和关键点。思维和推理活动从本质上看，是具有模糊性的一种过程，加州大学计算机科学系的哥根教授认为，人们对自然语言的理解是模糊的，控制论创始人维纳指出，人与机器之间的本质区别，是人能够判断和描述模糊现象，具有处理模糊问题的能力。这些都说明人脑的思维和推理过程是模糊的，自然语言本身也具有模糊性。

具有模糊概念的语言常称为模糊语言。在模糊集理论中，模糊语言作为模糊集理论的一个分支已得到深入的研究，并在人工智能、模糊控制等领域获得了广泛的应用。

2.2.9.1 模糊语言变量

语言是由一定的字符(称为文字和符号)组成，通过字符组成一定的词汇、句子和段落，并借以表达一定的含义。语言中“文字”和

“含义”的对应关系,称为语义。

在语言中,能够表达一个完整概念的最小单位称为原子单词,如河、山、花等都是单词。模糊语言的核心是模糊集合,如“很年轻”、“很早”、“高个子”等,就分别是在论域“年龄”、“时间”、“身高”上的模糊集。语言变量是以自然或人工语言中的字或句作为变量的,用以表征那些十分复杂或者定义很不完善,而且无法采用精确的术语进行描述的现象和问题。

模糊语言变量是较模糊变量更高的变量,是将模糊语言形式化的重要工具。查德认为模糊语言变量为 5 元组,并给出下列形式:

$$[X, T(X), U, G, M]$$

式中: X 为语言变量的名称; U 为 X 的论域; $T(X)$ 为语言变量值的集合,每个语言变量值是定义在论域 U 上的模糊集合; G 为语法规则,以产生语言变量 x 值的名称; M 为语义规则,以产生模糊集合的隶属度函数。

例 以身高为模糊语言变量 x ,论域 U 取 $[1.5, 1.9]$ (米),身高的语言值集合 $T(x)$ 为{高个子、中个子、矮个子},“高个子”、“中个子”、“矮个子”都是模糊集合,模糊集合的隶属度,用语义规则 M 来决定,如图 2.1、图 2.2 所示,将身高分成若干语言值规则,就是语法规则。

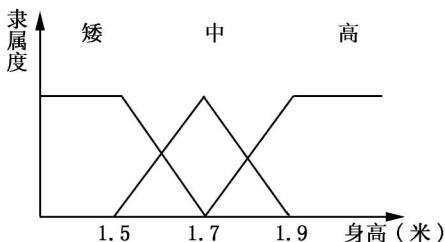


图 2.1 模糊语言变量“身高”的隶属度函数

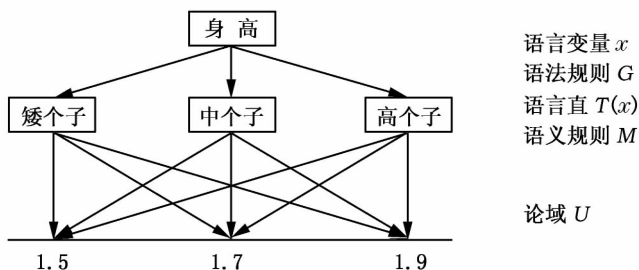


图 2.2 模糊语言变量“身高”的 5 元组

2.2.9.2 模糊语言算子

自然语言中有一些通过改变语气而改变语义的词,用以加强或减弱肯定语气的程度,如“很”、“非常”、“极”等,也有一些使语义变得更加模糊的词,如“大概”、“近似于”、“可能”等,还有一些词使词义由模糊变为肯定,如“偏向”、“倾向于”等,这些词在模糊语言中通常作为语气算子来考虑,因此,形成了三类算子。

(1) 语气算子

语气算子定义如下:

$$(H_{\lambda}A)(u) = [A(u)]^{\lambda}$$

式中: $A(u)$ 为论域 U 的一个模糊子集; H_{λ} 称为语气算子; λ 为正实数。

$\lambda > 1$ 表示加强语气的词,称为集中化算子。

如论域 U 为年龄, $A(u)$ 表示单词(老),那么 $(H_{\lambda}, A)(u)$ 根据 λ 的取值,可以表示出“老”的程度。设 $\lambda = \frac{5}{4}$, $\lambda = 2$, $\lambda = 4$ 时, H_{λ} 分别表示“相当”、“很”、“极”,则由例中“老”的模糊概念的隶属度,可以得到:

$$\begin{aligned} [\text{相当老}](u) &= (H_{\frac{5}{4}}A)(u) = [A(u)]^{\frac{5}{4}} \\ &= \begin{cases} 0, & 0 \leq u \leq 50 \\ \left[1 + \left(\frac{u-50}{5} \right)^{-2} \right]^{-\frac{5}{4}}, & 50 \leq u \leq 200 \end{cases} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{很老}](u) &= (H_2 A)(u) = [\underset{\sim}{A}(u)]^2 \\
 &= \begin{cases} 0, & 0 \leq u \leq 50 \\ \left[1 + \left(\frac{u-50}{5}\right)^{-2}\right]^{-2}, & 50 \leq u \leq 200 \end{cases}
 \end{aligned}$$

当 $\lambda < 1$ 时, H_λ 称为散漫化算子, 可以适当地减弱语气的肯定程度, 如设 $\lambda = \frac{1}{4}$, $\lambda = \frac{1}{2}$, $\lambda = \frac{3}{4}$ 时, H_λ 分别表示“微”、“略”、“比较”, 则:

$$\begin{aligned}
 [\text{微老}](u) &= (\underset{\sim}{H_{\frac{1}{4}} A})(u) = [\underset{\sim}{A}(u)]^{\frac{1}{4}} \\
 &= \begin{cases} 0, & 0 \leq u \leq 50 \\ \left[1 + \left(\frac{u-50}{5}\right)^{-2}\right]^{-\frac{1}{4}}, & 50 \leq u \leq 200 \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{略老}](u) &= (\underset{\sim}{H_{\frac{1}{2}} A})(u) = [\underset{\sim}{A}(u)]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \begin{cases} 0, & 0 \leq u \leq 50 \\ \left[1 + \left(\frac{u-50}{5}\right)^{-2}\right]^{-\frac{1}{2}}, & 50 \leq u \leq 200 \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{比较老}](u) &= (\underset{\sim}{H_{\frac{3}{4}} A})(u) = [\underset{\sim}{A}(u)]^{\frac{3}{4}} \\
 &= \begin{cases} 0, & 0 \leq u \leq 50 \\ \left[1 + \left(\frac{u-50}{5}\right)^{-2}\right]^{-\frac{3}{4}}, & 50 \leq u \leq 200 \end{cases}
 \end{aligned}$$

$u = 55$ 岁, 则 55 岁对于“老”的隶属度为:

$$\mu_A(55) = 0.5$$

$$\mu_{\text{相当老}}(55) = 0.42$$

$$\mu_{\text{很老}}(55) = 0.25$$

$$\mu_{\text{微老}}(55) = 0.84$$

$$\mu_{\text{略老}}(55) = 0.71$$

$$\mu_{\text{比较老}}(55) = 0.59$$

(2) 模糊化算子

模糊化算子 F 的定义如下:

$$\begin{aligned}(FA)(u) &= (Eo A)(u) \\ &= \bigvee_{v \in U} \widetilde{E}(u, v) \wedge \widetilde{A}(v)\end{aligned}$$

E 是 U 上的一个相似系数, 论域 $U(-\infty, +\infty)$, E 一般取为正态分布, 即:

$$\widetilde{E}(u, v) = \begin{cases} e^{-(u-v)^2} & , |u-v| < \delta \\ 0 & , |u-v| \geq \delta \end{cases}$$

式中, δ 为参数, 其取值大小反映了模糊化程度。

(3) 判定化算子

判定化算子定义为:

$$(P_\alpha A)(u) = p_\alpha [A(u)]$$

式中: P_α 为判定化算子, $P_\alpha(x)$ 为定义在 $[0, 1]$ 区间上的实函数, $P_\alpha(x)$ 为:

$$P_\alpha = \begin{cases} 0 & , x \leq \alpha \\ \frac{1}{2} & , \alpha < x \leq 1 - \alpha \quad (0 < \alpha \leq 0.5) \\ 1 & , x > 1 - \alpha \end{cases}$$

如[青年]的隶属函数为:

$$\mu_A(u) = \begin{cases} 1 & , 0 \leq u \leq 50 \\ \left[1 + \left(\frac{u-50}{5} \right)^2 \right]^{-1} & , 25 \leq u \leq 200 \end{cases}$$

$u=30, \mu_A(u) = \frac{1}{2}$, 则

$$\begin{aligned}[\text{倾向青年}](u) &= P_{\frac{1}{2}}[\text{青年}](u) \\ &= p_{\frac{1}{2}}([\text{青年}](u)) \\ &= \begin{cases} 0 & , u > 30 \\ 1 & , u \leq 30 \end{cases}\end{aligned}$$

除上述给出的三类算子外, 还有比喻、联想等。

2.2.9.3 语言值及其四则运算

自然语言中的一些词可以数量化, 如大、小、多、少、长、短等以及语言算子衍生出来的词汇, 如很大、略小, 相当多、较少, 极长、稍短

等,都称为语言值。

如论域 $U = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$, 则

$$[\text{大}] = \frac{0.2}{4} + \frac{0.4}{5} + \frac{0.6}{6} + \frac{0.8}{7} + \frac{1.0}{8} + \frac{1.0}{9} + \frac{1.0}{10}$$

$$[\text{小}] = \frac{1.0}{1} + \frac{0.8}{2} + \frac{0.6}{3} + \frac{0.4}{4} + \frac{0.2}{5}$$

$$[\text{倾向大}] = P_{\frac{1}{2}}[\text{大}] = \frac{1.0}{6} + \frac{1.0}{7} + \frac{1.0}{8} + \frac{1.0}{9} + \frac{1.0}{10}$$

$$[\text{倾向小}] = P_{\frac{1}{2}}[\text{小}] = \frac{1.0}{1} + \frac{1.0}{2} + \frac{1.0}{3}$$

$$[\text{不大}] = [\text{大}]^c = \frac{0.8}{4} + \frac{0.6}{5} + \frac{0.4}{6} + \frac{0.2}{7}$$

$$[\text{不小}] = [\text{小}]^c = \frac{0.2}{2} + \frac{0.4}{3} + \frac{0.6}{4} + \frac{0.8}{5} + \frac{1.0}{6} + \frac{1.0}{7} + \frac{1.0}{8} + \frac{1.0}{9} + \frac{1.0}{10}$$

$$[\text{不大也不小}] = [\text{大}]^c \wedge [\text{小}]^c = \frac{0.6}{4} + \frac{0.6}{5} + \frac{0.4}{6} + \frac{0.2}{7}$$

2.2.9.4 模糊推理

(1) 判断与推理

判断和推理是人类思维的主要形式,判断主要描述人们所思考的对象是否具有某种属性,其结果是确定对象的属性。

推理是人们从两个或两个以上的判断中得出一个新判断的方法,判断是概念与概念的联合,推理是判断和判断的联合。

已有的判断称为前提,新的判断称为结论。推理有直接推理、演绎推理、归纳推理和类比推理。直接推理是指以一个判断为前提,推导出一个新判断的形式。

演绎推理是以一般的原理、原则为前提,推导出在特殊场合下的结论的方法。演绎推理分为两类:

一类是三段论推理,是指根据两个判断,得出第三个判断的一种推理。第一个判断提供一般的原理,称为大前提,第二个判断说明一个特殊的场合,称为小前提,第三个判断将前两个判断结合,给出第

三个判断,称为结论。

另一类是假言和直言推理。假言推理以肯定或否定对象在一定条件下,具有某种属性的假言判断为大前提,以无条件地肯定或否定某种事物的直言判断为小前提和结论。

归纳推理是以若干特殊场合中的情况为前提,推导出一个一般的原理、原则,作为结论的推理形式。

类比推理是由特殊性的判断为前提,推导出另一特殊性的判断的推理形式。

(2)判断句

判断句的句型是“ u 是 a ”, u 称为语言变量, a 为表示概念的一个词或一个词组。这种判断句可记为 (a) ,若 a 的外延清晰,则 a 所对应的集合为普通集合, (a) 是普通判断句。若 $u \in A$,“ u 是 a ”的判断为真,称 A 为 (a) 的真域。

若“ u 是 a ”的判断没有绝对的真假时, u 对 A 的隶属度定义为 (a) 对 u 的真值。

(3)推理句

若“ u 是 a ,那么 u 是 b ”型的判断句称为推理句,记为“ $(a) \rightarrow (b)$ ”, a, b 对应的都为普通集合,则称为普通推理句。如“若 u 是菱形,则 u 是平行四边形”是推理句。

(4)模糊推理句

模糊推理句和模糊判断句一样,无法确定句子的绝对真或假,只能给出真的程度。如“若 u 是晴天,则 u 很暖和”,这里 a 是晴天, b 是很暖和, a, b 都是模糊概念。 $(a) \rightarrow (b)$ 是模糊推理句。

类似于普通推理句,模糊推理句真值定义如下:

$$\begin{aligned} \text{“}(a) \rightarrow (b)\text{”对 } x \text{ 的真值} &= [(a) \rightarrow (b)](x) = (A - B)^c(x) \\ &= 1 - A(x) \wedge [1 - B(\tilde{x})] \end{aligned}$$

因为 $A - B = A \cap B^c$,于是有:

$$\begin{aligned} (A - B)^c &= (A \cap B^c)^c = A^c \cup B \\ [(a) \rightarrow (b)](x) &= [1 - A(x)] \vee B(x) \end{aligned}$$

应用模糊集合论对模糊命题进行模糊推理时,要用模糊关系表示模糊条件句,将推理的过程转化为对隶属度的合成及演算过程。

2.2.10 模糊集理论的应用

2.2.10.1 模糊关系

经典关系只说明元素之间的关系有或无,不能说明关系的相关程度。自然界中许多元素之间并不是简单的有或无的关系,而是具有不同程度的相关性质,反映这种性质的关系就是模糊关系。模糊关系是普通关系的推广。

(1) 模糊关系的定义

设 X, Y 为两个论域, $X \times Y$ 上的任何一个模糊集 $\tilde{R} \in F(X \times Y)$, 那么, $X \times Y = \{(x, y) | x \in X, y \in Y\}$ 的一个模糊集 $\tilde{R}$, 称为 X 与 Y 之间的模糊关系。模糊关系 $\tilde{R}$ 由隶属函数 $\mu_{\tilde{R}}(x, y)$ 确定, 即:

$$\begin{aligned} \tilde{R}: X \times Y &\rightarrow [0, 1] \\ (x, y) &\rightarrow \mu_{\tilde{R}}(x, y) \end{aligned}$$

式中: $\mu_{\tilde{R}}(x, y)$ 称为 x 与 y 关于 $\mu_{\tilde{R}}$ 的关系强度。这种关系称为二元模糊关系。

二元模糊关系可以不加修改地直接推广到 n 元模糊关系。

(2) 模糊关系的性质

模糊关系是一种特殊的模糊集, 即 $X \times Y$ 上的模糊集, 其运算与模糊集的运算一致, 存在着包含关系、恒等关系, 并、交、补的运算, 并符合幂等、交换、结合、吸收、分配、两极、复原、对偶等规律。

模糊关系也有合成运算。设 X, Y, Z 是论域, $P \in F(X \times Y)$, $R \in F(Y \times Z)$, P 与 R 可以做出新的模糊关系 $P \circ R \in F(X \times Z)$, 称之为 P 与 R 的合成关系, 隶属函数为:

$$P \circ R(x, z) = \bigvee_{y \in Y} [P(x, y) \wedge R(y, z)]$$

若 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_l\}$, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$

为有限论域,则 $\tilde{P}, \tilde{R}$ 与 $\tilde{P} \circ \tilde{R}$ 可表示为下列矩阵形式:

$$\tilde{P} = (\tilde{p}_{ij})_{l \times m}, \tilde{R} = (\tilde{r}_{jk})_{m \times n}$$

$$\tilde{P} \circ \tilde{R} = \bigvee_{j=1}^m (\tilde{p}_{ij} \times \tilde{r}_{jk})$$

2.2.10.2 模糊综合评判

(1) 模糊变换

模糊变换是模糊综合评判的理论基础。设 $\tilde{A} = F(\tilde{U}), \tilde{B} = F(\tilde{V}), \tilde{R} \in F(\tilde{U} \times \tilde{V})$, 称下列映射为模糊变换:

$$\tilde{R}: \tilde{F}(\tilde{U}) \rightarrow \tilde{F}(\tilde{V})$$

$$\tilde{A} \rightarrow \tilde{B} = \tilde{A} \circ \tilde{R}$$

特别地,若 $\tilde{U} = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 和 $\tilde{V} = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 为有限论域时, $\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n), \tilde{B} = (b_1, b_2, \dots, b_m), \tilde{R} = (r_{ij})_{n \times m}$ 则模糊变换后:

$$\tilde{B} = \tilde{A} \circ \tilde{R} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$$

隶属度变换为:

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij})$$

(2) 简单的模糊评判

设因素集 $\tilde{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 评价集 $\tilde{Y} = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, 从因素集到评价集的模糊关系 $\tilde{R}$ 反映了各单个因素 x_i 对各种评价的隶属性。如 r_{ij} 就表示 x_i 对 y_j 评价的隶属度。 $\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 是一个权重分配, 表示各因素在评价中的重要性, 综合评价的结果为模糊集 $\tilde{B} = (b_1, b_2, \dots, b_m)$ 。

模糊综合评判为以下模糊变换:

$$(b_1, b_2, \dots, b_m) = (a_1, a_2, \dots, a_n) \circ \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

式中, $b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) (j=1, 2, \dots, m)$

$$=(0.4, 0.5, 0.2)$$

若按照最大隶属原则,则 $\max(0.4, 0.5, 0.2)=0.5$, 即该教师的教学质量为良好。

(3)多层次模糊综合评判

在评判的过程中,若评判的因素很多,因素的权重系数难以确定,而且,由于权重系数要归一化,因此,各因素分配的权重系数较小,当作“取大($\vee$)”、“取小($\wedge$)”等合成运算时,可能会丢失许多有价值的信息,以至于最后的结果分辨率很小,甚至无法得出评价的结果。

解决这一问题的有效方法是采用分级综合评判,即先将因素分成若干类,然后将各类因素再分成若干种,每种因素再分成若干指标等,权重系数的确定在各级内进行。在进行综合评判时,首先做出最低级的综合评价,然后从低到高,依次做出上一级的综合评价,最后完成最高级的综合评判。

多级模糊综合评判的方法与步骤如下:

①将因素集 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 按照因素属性分成 p 个子集, 即:

$$X_i=\{x_1, x_2, \dots, x_{n_i}\} (i=1, 2, \dots, p)$$

且 X 满足条件:

$$\begin{aligned} \bigcup_{i=1}^p X_i &= X \\ X_i \cap X_j &= \Phi, i \neq j \end{aligned}$$

②设评价集 $Y=\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, 对每一子因素集 X_i , 若各因素权重系数为 $A_i=\{a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_{n_i}}\}$, 分别做出 X_i 的综合评判:

$$\underset{\sim}{B_i} = \underset{\sim}{A_i} \circ \underset{\sim}{R_i} = (b_{i_1}, b_{i_2}, \dots, b_{i_m}) (i=1, 2, \dots, p)$$

式中: $\sum_{i=1}^{n_i} a_{i_t} = 1$; R_i 为评判矩阵。

③将每个 X_i 看成一个因素, 即:

$$X=\{X_1, X_2, \dots, X_p\}$$

X 又成为一个因素集, 它的评判矩阵为:

$$\underset{\sim}{R} = \begin{bmatrix} B_1 \\ \sim \\ B_2 \\ \sim \\ \vdots \\ B_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{p1} & \cdots & b_{pm} \end{bmatrix}$$

每个 X_i 作为 X 的一部分,反映了 X 的一种属性,按照重要性可以给出 X 的权重系数:

$$\underset{\sim}{A} = (a_1, a_2, \cdots, a_p)$$

这样,可以得到二级综合评判:

$$\underset{\sim}{B} = \underset{\sim}{A} \circ \underset{\sim}{R} = (b_1, b_2, \cdots, b_m)$$

依此类推,可以得到多级模糊综合评判模型。

(4) 多级模糊综合评判模型

设因素集为 $U = \{u_1, u_2, \cdots, u_m\}$, 对其中的 $u_i (i=1, 2, \cdots, m)$, 做进一步划分。令 $u_i = \{u_{i1}, u_{i2}, \cdots, u_{im}\}$, 然后对 u_{ij} 再进行划分, 令 $u_{ij} = \{u_{ij1}, u_{ij2}, \cdots, u_{ijm}\}$, 如此可以划分下去。在综合评判时, 先从低级的评判开始, 逐步向上一级评判进行。图 2.3 是多级模糊综合评判模型。

$$\begin{aligned} \{u_{ij1}, u_{ij2}, \cdots, u_{ijm}\} \circ \underset{\sim}{R}_{ij} &\longrightarrow u_{ij} \\ \{u_{i1}, u_{i2}, \cdots, u_{im}\} \circ \underset{\sim}{R}_i &\longrightarrow u_i \\ \{u_1, u_2, \cdots, u_m\} \circ \underset{\sim}{R} &\longrightarrow U \end{aligned}$$

图 2.3 多级模糊综合评判模型

(5) 广义合成运算的模糊综合评判模型

在前面的模糊综合评判中, 所应用的合成运算是“或 $\vee$ ”、“与 $\wedge$ ”型, 即“取大”与“取小”运算, 简称为 $(\vee, \wedge)$ 运算模型。 $(\vee, \wedge)$ 合成运算, 在综合评判时, 有时可能会失去许多重要的信息, 有必要对 $(\vee, \wedge)$ 合成运算进行拓展。下面是几类常用的合成运算模型。

① $(\vee, \wedge)$ 模型。此时

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}), (j=1, 2, \cdots, m)$$

该类模型的优点是简单、方便,主要因素突出;缺点是运算过程中会丢失大量信息。

② $(\vee, \cdot)$ 模型。此时

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i r_{ij}), (j=1, 2, \dots, m)$$

乘法运算能够使信息得到充分体现,且极大地突出了主要因素的影响;缺点是 $\bigvee$ 运算仍有可能使信息丢失。

③ $(\oplus, \wedge)$ 模型。此时

$$b_j = \bigoplus_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) = \min \left(1, \sum_{j=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) \right)$$

该评判模型同模型(2)有基本相同的特点。

④ $(\oplus, \cdot)$ 模型。此时

$$b_j = \bigoplus_{i=1}^n (a_i r_{ij}) = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij}$$

2.3 知识系统工程

2.3.1 知识工程概述

知识工程(Knowledge Engineering, KE)的研究与人工智能的研究密不可分。1965年,费根鲍姆教授在总结以往人工智能系统失败原因的基础上,发现人类专家之所以成为专家,是因为他们掌握了大量的、专门的知识,特别是一些他们经过长期实践摸索出来的经验性知识。因此,费根鲍姆认为,要想建立具有智能的系统,并模拟人的智能行为,就必须在系统中引入人的知识。基于这种思想,费根鲍姆和迪捷诺思(C. Djerassi)等应用丰富的化学知识,成功地开发出用于分析分子结构的专家系统。

1968年,奎尔耶(Quillian)提出语义网络的知识表示方法,并试图建立记忆的心理模型,西蒙(Simon)等人采用语义网络的语言表达方法,研究了自然语言的表示和理解问题,取得了成功。1975

年,明斯基(Minsky)给出基于框架的知识表示方法,该方法也可以用于描述计算机视觉、自然语言等一些复杂的对象。

1977年,在第五届国际人工智能会议上,费根鲍姆首次提出了知识工程的概念,并系统阐述了知识工程的思想、原理和基本方法,确定了知识工程在人工智能中的重要地位。知识工程的产生不仅为建立专家系统、解决人工智能的若干问题提供了理论框架,而且对研究智能信息处理起到了巨大的推动作用。之后,知识工程方法迅速渗透到人工智能研究的各个领域,一方面促进了人工智能的发展,使基于能力的人工智能策略研究,转向基于知识的人工智能方法研究;另一方面,知识工程作为人工智能的一个分支也取得了重大发展。

2.3.2 知识表示的方法分析

2.3.2.1 谓词逻辑的知识表示方法

(1)谓词逻辑的知识表示

逻辑是最早也是最广泛应用于知识表示的模式,主要是应用命题逻辑和谓词逻辑来描述一些事实,并基于已有事实推出新事实的方法。

就人工智能而言,命题逻辑的用途不大,因为在人工智能中,不仅需要判断命题的真假,更重要的是要表示对象的类型与性质及对象之间的关系,因此,命题逻辑存在着局限性。为此,要引入谓词逻辑(Predicate Logic, PL)。

在谓词逻辑中,一个命题通常由主语和谓词两部分组成,主语是能够独立存在的实体。实体既可以是抽象的,也可以是具体的。由实体组成的集合称为个体域,个体域中的元素称为个体,个体可以是有限的,也可以是无限的。谓词是对个体的陈述,说明个体的性质或个体自身及个体与其他个体之间的联系。

一般用大写字母表示谓词,小写字母表示个体。如谓词 B 表示“是亮的”,个体 l 表示“灯”,则“灯是亮的”,可以表示为“ l 是 B ”,记为 $B(l)$,称之为 一元谓词。一元谓词通常用于表示个体的性质。表示两个个体关系的命题,如“ a 等于 b ”,可以表示为 $Q(a, b)$,这里 Q

表示“等于”， $Q(a, b)$ 称为二元谓词。多元谓词表示了多个实体之间的关系。

谓词运算是命题运算的扩展，命题连接词与（ $\wedge$ ）、或（ $\vee$ ）、非（ $\neg$ ）、蕴含（ $\rightarrow$ ）、等价（ $\leftrightarrow$ ）等在谓词逻辑中具有同样的含义。为了对谓词加以限定，在谓词逻辑中，引入了全称量词“ $\forall$ ”和存在量词“ $\exists$ ”，“ $\forall$ ”表示“所有的”，如“ $(\forall l)B(l)$ ”表示“所有的灯是亮的”，“ $\exists$ ”表示“存在一个”，如“ $(\exists l)B(l)$ ”表示“存在一个灯是亮的”。

例 设计产品粉碎机时，输出物料的直径小于 0.1mm。设 $P(x, y)$ 表示“ x 小于 y ”， m 表示物料， d 表示物料的直径，则此设计技术要求可以表示为：

$$(\forall m)P(d, 0.1)$$

例 编制零件加工工艺规程时，要求至少有一个零件表面的尺寸精度小于 IT10，则它的谓词知识表示为：

设 $P(x, y)$ 表示“ x 小于 y ”， s 表示零件表面， IT 表示零件尺寸精度，则：

$$(\forall s)(\exists s)P(IT, 10)$$

由此可见，谓词逻辑可以将一个十分复杂的语句，描述得十分简洁。因此，谓词逻辑是知识表示中广泛使用的一种方法。其中，一阶谓词逻辑（First Order Predicate Logic, FOPL）是谓词逻辑中最直观的一种逻辑，具有完备的逻辑推理算法，如果对逻辑的某些外延作适当的扩展，大部分知识都可以表示成一阶谓词逻辑的形式。

通常若一阶谓词为 P ，一个个体为 X ，个体的性质或另一个体为 Y ，则谓词可以表示为 $P(X, Y)$ 形式。

（2）一阶谓词逻辑的特点

一阶谓词逻辑的优点是具有厚实的数学理论基础，而且与数据库特别是关系数据库有密切的联系。在关系数据库中，逻辑代数表达式是谓词逻辑的表达式之一，若采用谓词逻辑作为系统的理论骨架，便可将数据库系统改造成知识库，而且，一阶谓词逻辑记号简单、自然、准确，描述易于理解、模块化好，具有很强的形式语义理解能力，可以从已知事实推导出新事实。缺点是难以表示过程性和启发

性知识,缺少统一的结构,难以管理大型知识库,对证明过程的操作能力差。

2.3.2.2 产生式规则的知识表示方法

(1)产生式规则(Procedural Rule,PR)的知识表示

产生式表示是 E. Post 在 1943 年提出的一种知识表示模式,是将专家的知识,以规则的形式,表示成一个规则集合,每一条规则都对应一个产生式表示,也就是一条知识或一个知识模块,一般写成:

模式,行为 Pattern, Action

如果,那么 If, Then

前提,后果 Antecedent, Consequent

场景,过程 Situation, Procedure

(2)产生式规则知识表示的特点

产生式规则知识表示方法与人的思维接近,使人易于理解其表示的内容,便于人机交换信息;由于每条规则都有相同的格式,模块化强,规则的修改、添加和更新方便,且在添加、更新过程中,对其他部分的影响较小,适合于表示启发性知识、陈述性知识和过程性知识。缺点是在大型系统中,规则难以模块化,且由于规则之间的限制,会导致效率的降低,难以跟踪问题的求解过程,缺乏形式化的描述能力。产生式规则主要用于在特定情况下开发的专家系统或控制系统。

2.3.2.3 框架和剧本的知识表示方法

(1)框架和剧本的知识表示方法

框架(Frame)知识表示法是明斯基(Minsky)在 1975 年提出的一种复杂的数据结构,用以表示重复出现的原型事件。知识框架表示法的出发点,是把人们头脑中的概念,看成是一定的知识体系或一定的数据结构,即看作框架。

一个框架可以有对象的若干个槽(Slots),一个槽可以有任意有限数目的侧面,一个侧面可以有任意有限数目的值。

利用框架、槽、侧面可以描述各种各样的信息,而且侧面的值也可以有自己的框架。

每个框架、槽、侧面都有自己的名字,槽内的值用于描述框架所表示的实体中各个组成部分的属性,每个槽中各侧面的值,分别从不同的角度反映槽的特性,每个侧面可以有一个或多个侧面值,每个侧面值可以是一个值,也可以是一个描述性概念。

连接到框架上的信息主要包括:怎样使用该框架、发生意外情况应该怎样做、槽对应的缺省值等。框架既可以表示陈述性知识,也可以表示过程性知识,通过填充槽值来实现预期驱动,完成恰当的推理。在框架中,包含有类属特性或属性值,它们在框架的每一个实例中都存在,并且与指定实体类型中所有实体共有的特性相对应,另外框架中还包含有槽的条件,用于限制填充该槽的值。

剧本(Script)是一类特殊的、专门的框架结构,是为了表示特定领域的、重复的一连串原型事件而设计的,它通过一些原语作为槽名,来表达对象的基本行为与内容,如场景、角色、道具、台词等。

(2) 框架和剧本知识表示的特点

框架和剧本都适用于表示重复的一系列原型事件,它们的优点是易于进行预期驱动程序的处理,易于选择适当的框架,以回顾和推理的方法组织知识;缺点是许多真实情况脱离原型,不容易归纳新情况。

2.3.2.4 语义网络的知识表示方法

(1) 语义网络的知识表示方法

语义网络(Semantic Networks, SN)是1963年由Quillian提出的,1969年,他把语义网络当作知识库使用并设计了TLC系统。语义网络是应用图解结构来表示知识的一种模式,是通过包含节点和边的有向图,来描述对象、事件、概念。

在语义网络中,节点表示对象、事件和概念,节点之间的弧表示对象、事件和概念之间的关系。

(2) 语义网络知识表示方法的特点

语义网络表示法直观、清晰,适合于表达关系性知识,通过个体之间的联系,可以追溯到有关个体节点,以实现知识的直接存取,反映了人类认识客观事物的过程,也便于理解。但每个节点连接多

条弧,需要有强有力的搜索规则来指引,表达范围有限。

语义网络知识表示方法的优点是能简单准确地表示对象之间的联系,对象或概念的事实可直接导出,易作出演绎推论;缺点是对网络的推理和操作并非都有效,推导效率低,缺乏正规的语义和术语。对高层次知识,对时间、意念等的知识表达,存在着局限性。

2.3.2.5 特性表的知识表示方法

(1)特性表的知识表示方法

特性表方法是给每个对象安排一张特性表,来描述对象性质的一种方法。不同的对象,采用不同的特性表,在每份特性表中,有对象的各种特征及特征的性质和状态。

(2)特性表知识表示方法的特点

特性表知识表示法,适合于多种类型知识的表示。当所表示的知识改变后,该方法容易对状态及对象的性质进行操作和更新。特性表方法的优点是将对象特性分组,减少搜索过程;缺点是难以完成推理性操作。

2.3.2.6 直接或模拟的知识表示方法

(1)直接或模拟的知识表示方法

直接或模拟的知识表示方法,采用的是一种与被表示情况同态(结构模拟)的形式来表示知识的,即将所表示的对象,根据全景的式样,按照比例缩小,因而与所表示的对象特征相似。适合于直接知识表示的事件很多,如将物景的外貌按比例缩小的地图、几何图模型等。

(2)直接或模拟知识表示方法的特点

直接或模拟知识表示法自然,易于更新,重要特征可直接观察,不必推理,可在受限环境下工作,使问题求解能够详尽、细致、有效,且易于理解、更新简单,可以对某些重要特征进行监控,但这种表示法极不灵活,不适合需要进行抽象和概括的知识。

2.3.2.7 知识表示的模糊方法

客观世界具有模糊属性,这种模糊性主要表现在三个方面:一是事物或对象属性的模糊,二是事物或对象之间相互联系的模糊,三是

作用于事物或对象上的操作模糊。

客观世界的模糊性,使得在知识表示中,引入模糊集理论是必要的。于是,在各种知识表示方法中,融入模糊集理论,就构成了各种模糊知识表示方法,如模糊谓词逻辑、模糊框架、模糊特性表、模糊产生式规则、模糊语义网络和模糊过程表示等。

2.3.3 知识获取与学习

2.3.3.1 知识获取

知识获取是专家系统的一个重要组成部分,是建立专家系统的关键,被称为建立专家系统的瓶颈。对于专家系统而言,知识获取是指通过一定的方法从领域专家处、潜在知识源中,提炼出知识,并将它转化为计算机程序,以解决机器的知识来源。知识获取主要有三种途径。

(1)间接的输入

采用特殊的知识编辑系统,将人类的知识,特别是专家用于问题求解的专门知识,直接用程序编辑后,输入计算机。

(2)直接的学习

将知识用自然语言的方法表达出来,并“传授”给计算机。

(3)机器的自学习

建立机器的学习系统,使机器本身具有自学习的能力,能够从经验中学习知识,而且能够通过不断地自学习,总结经验,修正误差和缺陷,归纳规律,自动提取和增加知识,丰富自身的知识库。

专家系统中的知识库所需要的知识,可以从上述三种途径中获得,所有的途径在获取知识时,都要包括从知识源中把问题求解的知识转化为计算机程序。

在上述三种途径中,第三种途径是最理想的,因为一个专家系统,如果具备自学习的能力,那么系统就可以根据外界环境的变化和系统本身的需要,改善、扩展系统自身的性能和规模,调整系统的学习能力,以便能以更智能化的方式,完成系统所担负的任务。

2.3.3.2 知识获取的方法

(1) 知识工程师编辑法

借助于知识工程师,使专家和知识库联系起来。一方面,知识工程师从专家处提取知识;另一方面,知识工程师将得到的知识传授给机器。

(2) 专家训练法

使熟悉计算机技术的专家,直接与智能编辑器联系,通过专家和机器的人机对话,使机器获取知识。

(3) 自我归纳法

使数据处理、归纳程序与知识库连接起来,通过处理大量的数据并归纳出相关的知识,来使机器获取知识。

(4) 直接从书本中获取知识。

2.3.3.3 知识获取的过程

(1) 问题的识别

问题的识别,就是认识问题的特征。一般要由一个或多个专家及一个知识工程师来完成。在这个过程中,专家提供解决问题的经验、书本上的理论知识以及应用实例等。知识工程师要学习这些经验、理论和应用实例,并掌握这些知识和解决类似问题的方法及建立专家系统的技术与工具。

专家和知识工程师要共同参与对问题的认识,专家首先提出原始问题的叙述性描述、问题解决方法的说明以及对问题求解的推理,经过双方反复论证和推敲,做出双方都同意的对问题形式化的初步描述,然后,由他们共同提炼出用于问题识别的关键部分的知识,并用词语加以表达,据此来定义问题的特征及其相应的知识结构。

(2) 概念化

概念化是揭示描述问题所需要的关键概念和关系。这一过程是以认识问题的特征作为必要条件的,是认识问题的高级阶段,是认识问题特征的升华和提高过程。

重要的概念和关系一旦确定,那么从这些概念的形成过程中就可以得到许多信息,这为设计知识的组织结构形式提供了必要条件。

(3)形式化

将概念化过程提炼出的关键概念、子问题和信息流等的特征,映射成知识工程中各种更形式化的表达,即设计知识的组织结构,称为形式化过程。

(4)实现

实现阶段主要是将经过形式化的知识,映射成与该问题所选工具相关联的框架表达,即形成概括知识的规则。在框架中的知识要保持一致性和相容性,并定义特定的控制流和信息流,使之成为一个可执行的程序。

(5)检验

通过实例对系统进行测试和验证,评价系统及其系统的表达形式,发现知识库和推理结构中的不足之处,以便修改和完善系统。

2.3.4 机器学习

2.3.4.1 机器学习概述

自20世纪80年代以来,机器学习作为实现人工智能的不可缺少的重要步骤,在人工智能领域引起了人们广泛的兴趣。特别是近几年来,机器学习领域的研究工作发展很快,并取得了令人瞩目的研究成果,已成为人工智能的重要研究方向之一。机器学习不仅在基于知识的系统中得到了广泛的应用,而且在自然语言处理、机器视觉、模式识别等许多领域,也得到了极其广泛的发展。一个系统是否具有学习能力,已成为衡量其是否具有智能的重要标志之一。

(1)机器学习模型

学习是人类智能的根本特征,但究竟什么是学习,目前还没有一个统一的定义。西蒙(Simmon)认为:学习是系统发生了的变化,并使得系统下一次的工作比这一次做得更好;明斯基(Minsky)指出:学习是我们头脑里有用的变化;迪特里奇(Dietterich)强调:学习是知识的增长。这些定义虽不尽相同,但说明学习主要包括两个方面,即知识的获取和技能的提高。

从普遍的观点来看,一般认为学习是一种显式的知识获取的过

程,或者是建立理论与方法、根据假设进行归纳推理的过程。机器学习是对人类学习过程的模拟,应该包括对外界信息的获取,以掌握知识和通过学习修改知识两个过程。

(2)学习、执行过程

学习过程首先对外部环境所提供的信息进行处理,并以显性的方式,总结和概括信息所表达的知识,其次,通过学习过程,增添知识库中的内容。

执行过程首先应用知识库的内容完成某项任务,然后把在完成任务时所获得的一些信息反馈给学习过程,以指导进一步的学习。

2.3.4.2 机器学习的策略

(1)符号学习

符号学习研究开始于 20 世纪 60 年代,主要是基于当时心理学家所做的研究工作而提出的。符号学习采用逻辑和图结构的方法,使机器学会描述高级知识的本领。

(2)知识密集型学习

从 70 年代中期开始,研究人员不再被单一的示例学习方法所局限,开始研究多种不同的学习方法,包括知识密集型学习、示教式学习、类比式学习等。

知识密集型学习重视领域知识和它对学习过程的引导作用,它与符号学习的区别在于,知识密集型学习在开始时,就已为系统提供了大量的有关某领域的知识,系统通过学习可以产生新的知识。

(3)神经网络学习

人工神经网络就是由具有自适应特点的、与人脑神经元相类似的人工神经元模型所组成的并行网络。网络结构是人脑结构的简化和理想化,正因为人工神经网络有人脑的结构和特点,人工神经网络具有学习能力,并且是通过直接模拟人脑的学习方式,来进行学习的。

对神经网络的研究开始于 20 世纪 40 年代。1943 年,麦克洛斯(W. McCulloch)和匹茨(W. Pitts)提出了第一个神经元模型,即 M-P 神经元模型,该模型的提出奠定了人工神经网络这一边缘性学科

研究的基础。80年代以后,人工神经网络研究得到了蓬勃发展,各种网络模型拓扑结构和学习算法不断被提出,到目前为止,网络模型及其算法已有近百种,各种修正和改进的模型及其算法不胜枚举。

人工神经网络已在信息处理领域发挥了重要作用,特别是在智能的、模糊的、随机的信息处理方面,神经网络具有不可替代的作用。

(4)混合型学习

混合型学习是将符号学习、知识密集型学习、神经网络学习结合在一起的一种学习策略,混合型学习可以采集众多学习方法的长处,取得更好的学习效果。

(5)机械式学习

机械式学习就是记忆,也称为死记硬背式学习。这种学习方式是把环境提供的知识存贮起来,以后所做的唯一工作就是检索,而不是进行计算和推导。

机械式学习是一种基本的学习方法,自身没有足够的能力独立地完成智能学习。但对于任何其他学习系统来说,它都是十分重要的组成部分,任何学习系统都必须记住和存储它们已获取的知识,以备将来使用。

在机械式学习系统中,知识已通过某种方法获得,并且是一种可直接使用的知识形式,不需要系统进行进一步的加工和处理。

机械式学习的方法是:系统每执行一个元素,解决一个问题,就记住和存储这个问题和它的解。可以把执行元素抽象地看成某一函数 F ,该函数在得到输入模式 $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 后,计算并输出函数 $(y_1, y_2, \dots, y_m)$ 。

机械式学习系统一般在存储器中简单地存放输入和输出模式对 $[(x_1, x_2, \dots, x_n), (y_1, y_2, \dots, y_m)]$,在以后需要计算 $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 时,系统的执行元素就从存储器中直接把 $(y_1, y_2, \dots, y_m)$ 检验出来,而不再是通过计算得出结果。

(6)示教式学习

示教式学习也称为听取意见式学习。由于意见是非操作性的,不能直接被执行,因此,示教式学习主要包括两个方面:一是建立能

够接受抽象建议的系统,在这种系统中,抽象的建议将被转化成规则,并用规则指导执行部分的工作;二是依靠研制有效的工具,使得专家可以很容易地将自己抽象的专业知识,转换成规则,在该过程中,人类专家成为系统的重要组成部分,他的主要任务是寻找错误、修改错误和更新知识库。

示教式系统首先要向人类专家请求建议,要求专家找出知识库中存在的问题,提出修改建议。

在请求的基础上,系统对建议要做出解释,即将该建议表示成系统能接受的知识。如果专家的建议是用自然语言来表示的,那么,就必须使用一定的规则和词汇,遵守一定的语法限制,以便使系统能够理解专家的建议。规则越多,限制越多,系统接受起来就越容易。

在系统已接受专家的建议并转化为系统内部表示之后,建议仍有可能不被执行元素直接执行。通常,专家的建议是一般性的,而不是具体动作的规则,因此,专家的建议要被改写成可操作化的语句,转化为可被直接执行的动作规则。

在将建议转化为新知识添加到知识库时,通常要对旧知识与新知识的关系进行评价,研究新知识的加入对旧知识的影响和知识库的应用。一般来说,添加新知识会产生新旧知识的重叠使用和推荐动作相互矛盾的问题。

学习系统通过让系统使用这些新知识,执行一些具体的实际任务,来检查使用效果,识别和评价把新知识添加到知识库后所引起的矛盾和错误。

(7) 类比式学习

类比式学习是人类认识事物的一个重要手段,也是人类的一种重要学习方式。类比式学习有一个基本假设,就是在遇到一个新的问题时,人们就会联想起以前遇到的一个类似的问题,因此,人们期望原来解决问题的方法同样能适应新的问题。

(8) 示例学习

根据示例学习例子的来源不同,示例学习可以分为以下三种类型:

①例子来源是教师。

②例子来源于学习者自己,又可分为:

A. 正例学习

正例学习通常用于产生新的概念、理论和方法,但可能会造成概念外延的扩大化。避免这一点的办法是,构造对概念、理论必不可少规则的集合,或者依靠预先掌握的领域知识对所推导的概念加以限制,来防止概念外延的扩大化。

B. 正反例学习

正反例学习是示例学习中最基本的一种学习方式。正例学习用以产生新的概念和新的理论、方法;反例学习则可以用来防止概念的扩大化。

③例子来源于学习者以外的外部环境。

一个示例学习系统必须能够从具体的训练例子中,推导出一般的规则,然后,再用这些规则去指导执行元素的动作。在示例学习系统中,有两个基本概念,即例子空间和规则空间。例子空间就是向系统提供训练案例的集合;规则空间则是系统通过学习所建立的事物具有某种规律的集合。

2.4 人工神经网络

2.4.1 人工神经网络简述

2.4.1.1 人工神经网络的产生

人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)的研究开始于20世纪中叶。1943年,麦克罗斯和匹茨融汇生物物理学和数学理论,提出了第一个神经元模型(M-P神经元模型),从此,人类开始了将数理科学和认知科学结合,探索人脑奥秘的进程。

1949年,心理学家赫布(D. O. Hebb)提出了神经系统的Hebb型学习规则,为神经网络的学习算法研究奠定了理论基础。1957年,罗森伯拉特(F. Rosenblatt)提出了感知器模型,第一次把神经网络

络理论研究引入到工程应用领域,并在世界范围掀起了神经网络理论研究的第一次高潮。

20 世纪 60 年代,数字计算机的蓬勃发展和它所取得的一系列重要成果,使人们错误地认为数字计算机可以适用于一切对象,解决一切问题,包括模式识别、人工智能等极为复杂的问题,从而放弃了对感知机等问题的研究,特别是明斯基和培罗特(Papert)在 1969 年发表的关于感知机的专著,提出了关于感知机模型的局限性结论后,人工神经网络研究被蒙上了一层阴影,神经网络理论研究陷入了低潮。

20 世纪 70 年代末,人们从大量的实践和事实中发现,人的智能远远超出计算机所能达到的能力,是计算机所无法比拟的。人具有自适应、自学习、自组织的能力,而计算机却无法做到。人可以完成极其复杂的智能行为,而计算机却难以完成简单的、低智能的工作。于是,人们重又将注意力转向神经网络,试图通过对人脑神经系统的结构和信息处理机制的研究,寻找解决人工智能等复杂问题的方法与思路。

1982 年,美国加州大学的霍普费尔德(Hopfield)教授提出了离散的神经网络模型,他引入李雅普诺夫(Lyapunov)指数,给出神经网络的稳定性判据。1984 年,他又提出了连续的可用于联想记忆和优化计算的神经网络模型,部分地解决了数字计算机目前尚不能解决的问题。人工神经网络研究的热潮重又在世界范围内掀起。1986 年,茹梅哈特(Rumelhart)和麦克莱德(McClelland)提出了反向学习(Back Propagation, BP)算法,该算法通过连续不断地使神经网络学习,来修正和调整网络的参数,达到使网络学习的目的。BP 模型是目前重要的、应用最广泛的神经网络算法之一。

20 世纪 80 年代以后,神经网络研究迅速在世界范围内展开,国际神经网络学会(INNS)也于 1987 年成立,并召开了第一次国际学术会议。20 世纪 90 年代,神经网络的国际学术会议接连不断,1990 年在美国华盛顿、1991 年在美国西雅图、1992 年在中国北京等地先后召开了多次国际神经网络学术会议,神经网络研究吸引了众多领

域专家和学者的广泛关注。

人工神经网络数学模型的研究,不是对生物神经系统全部照抄地复制或仿真,而是从模拟生物神经系统的构造和功能出发,按照生物神经系统组织的模式,抽取其主要结构特点,在构造出简化的人工神经细胞元的基础上,将神经元并行、分层地相互结合成网络,建立简单可行且能完成所期望功能的模型。

目前,人工神经网络在理论模型研究、学习算法设计、实际应用及其与机器学习的结合等方面都得到了广泛、深入的研究,范围涉及人工智能、认知科学、行为科学、心理学、神经科学等众多领域,并在模式识别、专家系统、机器学习等许多方面取得了丰硕的研究成果。

2.4.1.2 人工神经网络的主要特点

从信息处理的速度上看,人脑神经元之间传递信息的速度远远低于计算机的工作速度,前者为毫秒级,后者可以达到 10^{-7} 秒级。但由于人脑是一个大规模并行处理系统,因而在许多问题上,如判断、识别和决策等,其速度可以超过串行组合的计算机系统。采用人工神经网络模拟人脑的结构和信息处理机制,可以极大提高机器的工作速度。

人脑存贮信息的特点是根据突触性能的变化,来调整存贮的内容,即将信息存贮在神经元之间的连接强度上,存贮区与处理区合在一起。计算机具有独立的存储器和处理器,知识存储与数据运算互不相关,只有依靠人给出的指令,计算机才能使两者进行交流。

人脑具有强大的自适应与自组织特性,这种特性是依靠人自身长期不断的学习获得的。基于人脑结构和特性而设计的人工神经网络,也具有自适应和自组织的能力,这种能力是借助于改变网络中的突触权重来实现的。因此,人工神经网络能够适应外界环境的要求,而且,即使是同一网络,学习方式及内容的不同,也可以使网络具有不同的功能。

人工神经网络是一个具有学习能力的系统,学习的对象是知识,并且可以完善、发展已学习的知识,经过学习后的神经网络,甚至可以达到乃至超过设计者原有的知识水平。

2.4.2 人脑神经元与人工神经元模型

2.4.2.1 人脑神经元

人脑大约由 10^{11} 个神经元,每个神经元由两部分构成,即神经细胞体和突起(包括树突、轴突)。

(1)细胞体由细胞核、细胞质和细胞膜组成,细胞膜有选择性的通透性,使细胞膜内外液的成分保持差别,形成膜内外的电位差。

(2)树突是细胞体向外伸出的、树枝状的、较短的突起,负责接收周围细胞的神经冲动。

(3)轴突是细胞体向外伸出的最长的一条神经纤维,每个神经元只有一个轴突。轴突在远离细胞体的一端有许多分支,称为轴突的神经末梢,轴突的神经末梢上有许多突触叩结,轴突通过末梢向其他神经元传递神经冲动。

(4)突触是神经元之间传送信息的结构,由一个神经元的轴突末梢和另一个神经元的树突或细胞体组成。突触有兴奋和抑制两种形式,当传入的信号进入突触时,神经细胞处于兴奋状态,产生神经冲动,并通过轴突输出。一个神经元约有 $10^3 \sim 10^4$ 个突触,人脑中约有 10^{14} 个突触,神经元之间的联系可达 $10^{14} \sim 10^{15}$ 个,神经细胞间通过突触这样多的连接,形成了人脑复杂的神经系统,如图 2.3 所示。

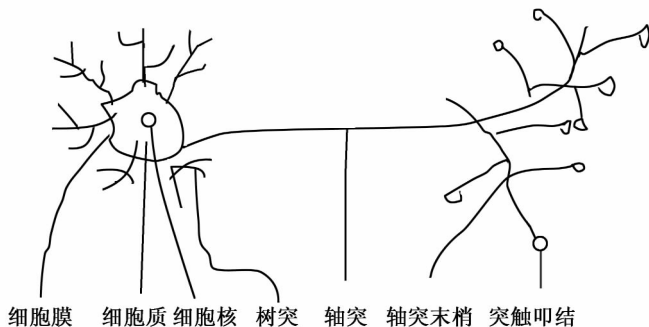


图 2.3 神经元结构

2.4.2.2 人工神经元模型

对于人脑神经元这样一个多输入、单输出的基本单元,可以从生物化学、电生物学、数学等方面,给出其功能的描述。下面介绍经典的 McCulloch-Pitts 神经元模型。该神经元模型是在研究人脑神经元的基础上提出的第一个简单的人工神经元模型,是一个多输入、单输出的非线性模型,如图 2.4 所示。

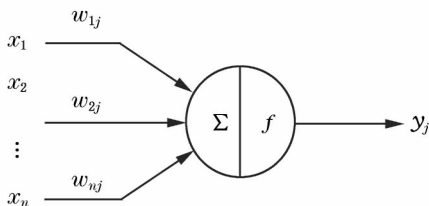


图 2.4 人工神经元模型

$$X_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i - \theta_j$$

$$y_j = f(X_j)$$

式中: x_i ($i=1, 2, \dots, n$) 是从其他神经元传来的输入信号, θ_j 是 j 神经元的阈值。 w_{ij} 是 i 神经元到 j 神经元的连接权值, f 是传递函数, f 可以是线性函数,也可以是 S 型函数,或是其他具有任意阶导数的非线性函数。常用的 f 函数类型有:

(1) 阈值函数,如图 2.5 所示。

$$f(x) = \begin{cases} 1 & , x \geq 0 \\ 0 & , x < 0 \end{cases}$$

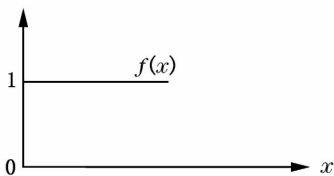


图 2.5 阈值函数

(2) 双向阈值函数, 如图 2.6 所示。

$$f(x) = \begin{cases} +1 & , x \geq 1 \\ -1 & , x < 0 \end{cases}$$

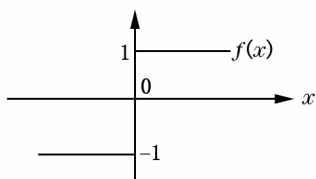


图 2.6 双向阈值函数

(3) S 型 (Sigmoid) 函数, 如图 2.7 所示。

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

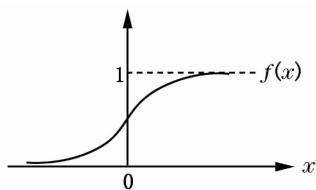


图 2.7 S 型函数

(4) 双曲正切, 如图 2.8 所示。

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

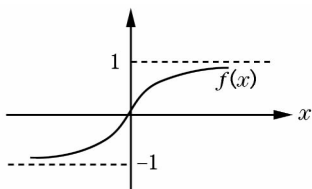


图 2.8 双曲正切型函数

(5)高斯函数,如图 2.9 所示。

$$f(x) = e^{-\frac{x^2}{\sigma^2}}$$

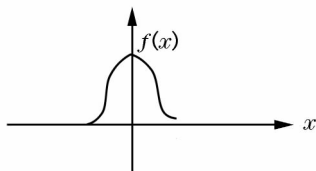


图 2.9 高斯型函数

2.4.3 人工神经网络的学习规则

人工神经网络是由大量的神经元按照一定的规则,互联而成的网络,按其拓扑结构,神经网络可以分为两大类。

2.4.3.1 层次网络

在层次网络中,神经元被分成若干层,信号由第一层通常称为输入层输入,经加权传递后,通过中间层,到达最后一层通常称为输出层输出。网络中各层次之间神经元相互连接,有时各层中神经元也有连接,从输出层到输入层还存在着反馈,如图 2.10 所示。

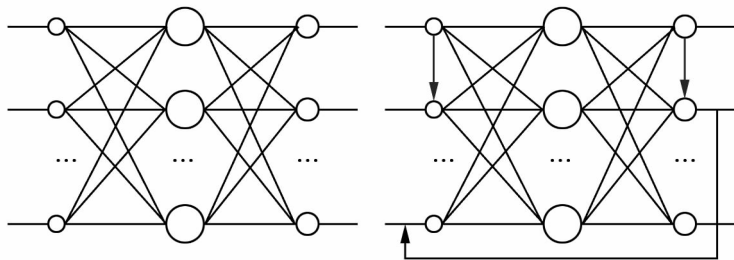


图 2.10 层次网络

2.4.3.2 互连网络

在互连网络中,任意两个神经元之间都有相互连接,其中有的神经元与神经元之间是双向连接,有的是单向连接,如图 2.11 所示。

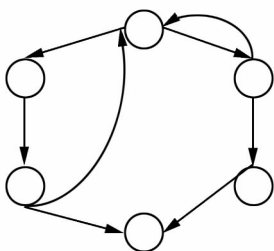


图 2.11 互连网络

2.4.4 人工神经网络的学习规则

学习功能是神经网络最主要的特征之一,各种学习算法研究,在人工神经网络理论与实践过程中,起着十分重要的作用。当前,人工神经网络研究的许多课题都致力于学习算法的改进、更新和应用。

通过一定的规则,根据神经元的输入状态、连接权、教师指导信息,来调整神经元之间的连接权,就是神经元的學習过程,这里的规则,就是神经网络的学习规则。常用的学习规则有:

2.4.4.1 赫布型学习规则

赫布型学习规则是赫布(D. O. Hebb)于 1949 年提出的一种学习规则,以此规则为基础,以后出现了多种形式的算法。赫布认为突触前后两个神经元同时兴奋,它们之间的连接权将增强。如图 2.12 所示,从神经元 u_i 到神经元 u_j 之间的连接权为 w_{ij} , u_i 与 u_j 是否被激活,取决于 $a_i(t)$ 和 $a_j(t)$, u_i 的输出为 y_i , u_j 的输出为 y_j ,教师指导信号为 $t_j(t)$,则 y_i 、 y_j 与 $a_i(t)$ 、 $a_j(t)$ 的关系有:

$$y_i(t) = f_i[a_i(t)]$$

$$y_j(t) = f_j[a_j(t)]$$

式中: f_i 与 f_j 是传递函数。

$$\Delta w_{ij} = F[a_j(t), t_j(t)] \times H[y_i(t), w_{ij}]$$

取不同的 F 和 H 函数,赫布型学习规则可以演化为不同的学习

类型。如无教师指导, H 只与 y_i 成正比, 则可以有:

$$\Delta w_{ij} = \zeta a_j(t) y_i(t)$$

式中: ζ 为学习速率, 且 $\zeta > 0$

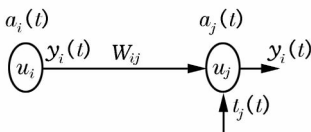


图 2.12 神经元的赫布型学习规则

2.4.4.2 误差修正型学习规则

在误差传播型学习中, F 函数为以下形式:

$$F[a_j(t), t_j(t)] = \zeta_1 [t_j(t) - a_j(t)]$$

函数 H 与神经元的输出 y_i 成正比:

$$H[y_i(t), w_{ij}] = \zeta_2 y_i(t)$$

式中: $\zeta_1 > 0, \zeta_2 > 0$, 则:

$$\begin{aligned} \Delta w_{ij} &= F[a_j(t), t_j(t)] \times H[y_i(t), w_{ij}] \\ &= \zeta_1 [t_j(t) - a_j(t)] \times \zeta_2 y_i(t) \\ &= \zeta [t_j(t) - a_j(t)] y_i(t) \end{aligned}$$

式中: $\zeta = \zeta_1 - \zeta_2$

若教师指导信号 $t_j(t)$ 为期望输出 $d_j(t)$, $a_j(t)$ 为实际输出 $y_j(t)$, 则:

$$\begin{aligned} \Delta w_{ij} &= \zeta [t_j(t) - a_j(t)] y_i(t) \\ &= \zeta [d_j(t) - y_j(t)] y_i(t) \\ &= \zeta \delta y_i(t) \end{aligned}$$

式中: $\delta = d_j(t) - y_j(t)$ 称为期望输出 $d_j(t)$ 与实际输出 $y_j(t)$ 的差值, 该规则也称为 δ 规则和误差修正规则, 是建立 BP 算法的基础。

2.4.4.3 随机型学习规则

这种网络的学习过程是根据 i 和 j 神经元在不同状态及系统为自由连接的概率来调整权重系数:

$$\Delta w_{ij} = \zeta (P_{ij}^+ - P_{ij}^-)$$

式中: ζ 为学习速率; P_{ij}^+ 和 P_{ij}^- 分别是神经元在输入、输出时的状态及系统为自由状态时连接的概率。 $P_{ij}^+ > P_{ij}^-$ 时, 增加权重值, $P_{ij}^+ < P_{ij}^-$ 时, 减少权重。

2.4.4.4 竞争型学习规则

竞争型学习是无教师型学习, 网络中神经元的连接分成兴奋和抑制型, 竞争是根据神经元受到的刺激量来判断, 竞争的结果是受到刺激量最大的神经元获胜, 其他神经元失败, 获胜的神经元依据下式来调整权重, 其他神经元在竞争中失败, 就不再调整权重。

$$\Delta w_{ij} = \zeta \left(\frac{B_{ik}}{n_k} - w_{ij} \right)$$

式中: ζ 为学习速率; B_{ik} 为 k 系列中第 i 个刺激成分; n_k 是刺激 k 激励输入单元的总数。

2.4.5 人工神经网络的功能

2.4.5.1 联想记忆 (Associative Memory, AM)

假定有 M 个样本模式 $X^{(s)}$, 其中 $s=1, 2, \dots, M-1$, 如果输入

$$X' = X^{(s)} + \Delta$$

式中: $X^{(s)}$ 是第 s 个样本; Δ 是由于噪声、干扰等造成的偏差。

若能计算出 $Y = X^{(s)}$, 即使可以消去偏差的样本复原, 则称系统具有联想记忆功能。神经网络具有联想记忆能力, 它的联想与记忆可以分为自联想 (Auto-AM) 与异联想 (Hetero-AM)。自联想功能如上述所言, 异联想功能涉及两组样本。

若样本 $X^{(s)}$ 和 $Z^{(s)}$ 样本一一对应, 当有偏差的输入信号为:

$$X' = X^{(s)} + \Delta$$

输出为:

$$Y = Z^{(s)}$$

称此功能为异联想。

2.4.5.2 分类 (Classification)

假定系统输入 X 有 M 类样本, 其中样本元素为 N , y_k 输出对应于 M 类样本之一, $k=1, 2, \dots, M-1$ 。 X 与 y 的关系如图 2.13 所

示。

$$y_k = \begin{cases} 1 & k=j \\ 0 & k \neq j \end{cases}$$

上述式子表明,当输入的样本与标准样本模式相匹配,即可进行分类,系统完成分类功能。

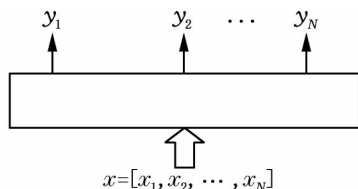


图 2.13 分类器

2.4.5.2 优化计算(Computation)

将优化约束信息存储于神经网络的连接权矩阵 W 之中,网络的工作状态以动态系统的方程式描述。然后设置一组随机数据作为网络的初始条件,当系统的状态趋于稳定时,网络方程的解作为输出,即为优化结果。

2.4.6 人工神经网络理论及其应用

2.4.6.1 感知器

感知器是一种重要的人工神经网络,主要用于模式分类。它是一个单层的网络,具有学习功能,其连接权随着网络的学习可以变化,如图 2.14 所示。

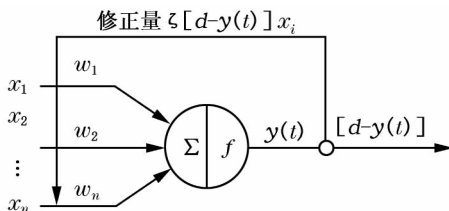


图 2.14 感知器模型

$$y(t) = f\left(\sum_{i=1}^n w_i(t)x_i - \theta\right)$$

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \zeta[d - y(t)]x_i$$

式中: $y(t)$ 为 t 时刻的输出; x_i 为输入; $w_i(t)$ 为 t 时刻第 i 个输入的权重; θ 为阈值; d 为期望输出, 也称为教师指导信号; f 为阶跃函数; $\zeta(0 < \zeta < 1)$ 称为学习速率。

2.4.6.2 BP 网络

(1) BP 网络的结构

BP 网络是目前研究最多、应用最广泛的神经网络形式之一, 它包含输入层、输出层和隐含层。隐含层可以是一层也可以是多层, 其中三层前向神经网络, 即只有一个隐含层的网络在工程上获得了成功的应用。在 BP 网络中, 各层上的神经元称为节点或单元, 各层神经元之间的连接用连接权重表示。以三层神经网络为例, $w_{ij}^{(1)}$ 表示输入层第 i 个单元与隐含层第 j 个单元之间的连接强度, $w_{jk}^{(2)}$ 表示隐含层第 j 个单元与输出层第 k 个单元之间的连接强度, 各单元的 outputs 决定于本单元的阈值和前一层单元的 outputs 及相应的权重, 神经元之间连接权重的改变, 是通过对网络的训练来实现的。

若给定样本为一个输入向量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 期望输出为一个向量 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, 然后使网络学习, 输出实际量, 根据实际输出量与期望输出量的误差, 由后向前反向传播误差, 修改权重, 使期望输出与实际输出的误差减少, 所以, BP 网络称为反向传播 (Back Propagation) 网络, 简称 BP 算法。图 2.15 为该种网络的模型。

网络学习是根据给定的输入向量 X 及期望输出向量 Y , 来调整网络的权重。当网络实际输出值向着期望输出值的方向变化时, 则权重向着加强输出的方向变化; 当网络实际输出值向着期望输出的反方向变化时, 则权重向着负加强输出的方向变化。

BP 算法可以分成两个阶段: 第一阶段由输入层的输入向量开始从前向后, 逐层计算各层神经元的输出, 并最终计算输出层的输出; 第二阶段从输出层开始计算误差, 并将误差逐层传播到各层神经元上, 对各神经元的误差, 依据梯度下降原则, 调整网络权重及神经元

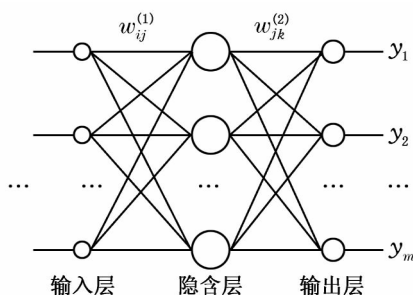


图 2.15 BP 网络的结构

的阈值,使修改后的网络实际输出,接近于期望输出。

(2) BP 算法的步骤

假设神经网络由三层构成,即只有一个隐含层。

① 设网络的输入向量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 期望的输出向量为 $D = (d_1, d_2, \dots, d_m)$, 又设输入层第 (i) 个节点至隐含层第 (j) 个节点、隐含层第 (j) 个节点至输出层第 (k) 个节点的权重系数分别为 $w_{ij}^{(1)}$ 、 $w_{jk}^{(2)}$, $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, p, k=1, 2, \dots, m$, 隐含层节点阈值为 θ_j , 输出层节点阈值为 θ_k , 各节点激活函数 φ 取 *sigmoid* 函数, 隐含层第 (j) 个节点、输出层第 (k) 个节点的实际输入分别为 $I_j^{(2)}$ 、 $I_k^{(3)}$, 实际输出分别为 $\gamma_j^{(2)}$ 、 $\gamma_k^{(3)}$, 如图 2.16 所示, 则:

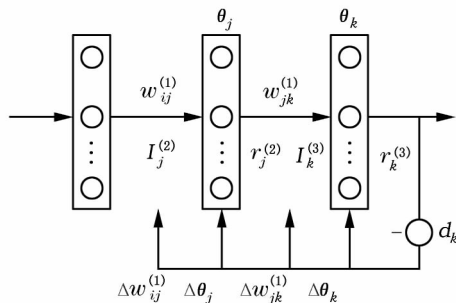


图 2.16 采用 S 型函数的 BP 网络

隐含层第(j)个节点的输入:

$$I_j^{(2)} = \sum_{i=1}^n x_i w_{ij}^{(1)} - \theta_j$$

$$j=1, 2, \dots, p$$

隐含层第(j)个节点的输入与输出:

$$\gamma_j^{(2)} = \phi(I_j^{(2)}) = \phi\left(\sum_{i=1}^n x_i w_{ij}^{(1)} - \theta_j\right)$$

$$j=1, 2, \dots, p$$

输出层第(k)个节点的输入:

$$I_k^{(3)} = \sum_{j=1}^p \gamma_j^{(2)} w_{jk}^{(2)} - \theta_k$$

输出层第(k)个节点的输入与输出:

$$r_K^{(3)} = \phi(I_k^{(3)}) = \phi\left(\sum_{j=1}^p \gamma_j^{(2)} w_{jk}^{(2)} - \theta_k\right)$$

$$k=1, 2, \dots, m$$

② 输出层期望值与实际值之间的误差:

$$E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^m (d_k - \gamma_k^{(3)})^2$$

③ 调整 $w_{ij}^{(1)}$ 和 $w_{jk}^{(2)}$, 以使 E 减少:

由于期望输出 d_k 与实际输出 $\gamma_k^{(3)}$ 不一致, 因此产生误差 E , 按照 E 来修改输出层的权重 $w_{jk}^{(2)}$ 和阈值 θ_k 、隐含层的权重 $w_{ij}^{(1)}$ 和阈值 θ_j , 应使 E 减少, 即 $\Delta w_{jk}^{(2)}$ 和 $\Delta \theta_k$ 以及 $\Delta w_{ij}^{(1)}$ 、 $\Delta \theta_j$ 应沿负梯度方向变化, 且与 $\frac{\partial E}{\partial w_{jk}^{(2)}}$ 、 $\frac{\partial E}{\partial \theta_k}$ 成正比, 有:

$$\Delta w_{jk}^{(2)} = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w_{jk}^{(2)}}$$

$$-\Delta \theta_k = -\alpha \frac{\partial E}{\partial \theta_k}$$

式中: α 为比例常数。

以下分别计算输出层、隐含层各单元的权重、阈值修正量。

计算误差 E 对 $\gamma_k^{(3)}$ 的导数:

$$\frac{\partial E}{\partial \gamma_k^{(3)}} = -[d_k - \gamma_k^{(3)}]$$

计算 E 对输出层输入 $I_k^{(3)}$ 的导数:

$$\frac{\partial E}{\partial I_k^{(3)}} = \frac{\partial E}{\partial \gamma_k^{(3)}} \cdot \frac{\partial \gamma_k^{(3)}}{\partial I_k^{(3)}} = -(d_k - \gamma_k^{(3)})(1 - \gamma_k^{(3)})\gamma_k^{(3)}$$

$$\begin{aligned} \text{式中: } \frac{\partial \gamma_k^{(3)}}{\partial I_k^{(3)}} &= \frac{\partial \left(\frac{1}{1 + e^{-I_k^{(3)}}} \right)}{\partial I_k^{(3)}} = \frac{e^{-I_k^{(3)}}}{(1 + e^{-I_k^{(3)}})^2} \\ &= \left(1 - \frac{1}{1 + e^{-I_k^{(3)}}} \right) \frac{1}{(1 + e^{-I_k^{(3)}})} = (1 - \gamma_k^{(3)})\gamma_k^{(3)} \end{aligned}$$

计算 E 对输出层与隐含层的权重 $w_{jk}^{(2)}$ 、输出层的阈值 θ_k 的导数:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial w_{jk}^{(2)}} &= \frac{\partial E}{\partial I_k^{(3)}} \frac{\partial I_k^{(3)}}{\partial w_{jk}^{(2)}} = -(d_k - \gamma_k^{(3)})(1 - \gamma_k^{(3)})\gamma_k^{(3)}\gamma_j^{(2)} \\ \frac{\partial E}{\partial \theta_k} &= \frac{\partial E}{\partial I_k^{(3)}} \frac{\partial I_k^{(3)}}{\partial \theta_k} = (d_k - \gamma_k^{(3)})(1 - \gamma_k^{(3)})\gamma_k^{(3)} \end{aligned}$$

计算输出层与隐含层单元之间的权重、阈值修正量 $\Delta w_{jk}^{(1)}$ 、 $\Delta \theta_k$:

若令: $\delta_k = -\frac{\partial E}{\partial I_k^{(3)}} = (d_k - \gamma_k^{(3)})\gamma_k^{(3)}(1 - \gamma_k^{(3)})$, 那么

$$\Delta w_{jk}^{(3)} = \alpha \delta_k \gamma_j^{(2)}$$

$$\Delta \theta_k = \alpha \delta_k$$

计算隐含层与输入层各单元的权重、阈值的修正量 $\Delta w_{ij}^{(1)}$ 、 $\Delta \theta_j$:

$$\begin{aligned} \Delta w_{ij} &= -\beta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \\ -\Delta \theta_j &= -\beta \frac{\partial E}{\partial \theta_j} \\ \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} &= \frac{\partial E}{\partial I_j^{(2)}} \frac{\partial I_j^{(2)}}{\partial w_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial \gamma_j^{(2)}} \frac{\partial \gamma_j^{(2)}}{\partial I_j^{(2)}} \frac{\partial I_j^{(2)}}{\partial w_{ij}^{(1)}} \\ &= \frac{\partial E}{\partial \gamma_j^{(2)}} \gamma_j^{(2)} (1 - \gamma_j^{(2)}) x_i \\ -\frac{\partial E}{\partial \gamma_j^{(2)}} &= \sum_{k=1}^m -\frac{\partial E}{\partial I_k^{(3)}} \frac{\partial I_k^{(3)}}{\partial \gamma_j^{(2)}} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk}^{(2)} \end{aligned}$$

若令: $\delta_j = -\frac{\partial E}{\partial I_j^{(2)}} = \gamma_j^{(2)}(1 - \gamma_j^{(2)}) \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk}^{(2)}$, 那么

$$\Delta w_{ij}^{(1)} = \beta \delta_j x_i$$

$$\Delta \theta_j = \beta \delta_j$$

δ_j 、 δ_k 分别称为输出层、隐含层的误差调整量, α 、 β 称为学习速率。

修改权重及阈值后, 再次计算各层单元的新输出, 然后计算新的调整误差以及新的权重、阈值修正量, 如此反复, 直到误差满足规定的要求或网络的学习不能进一步提高精度为止。

(3) BP 算法存在的主要问题

BP 算法是一个很有用的算法, 但也存在着若干缺点。

① 由于 BP 算法中, 采用了 S 型函数, 输出层各神经元的理想输出只能趋近于 1 或 0, 而无法达到 1 和 0, 因此, 各训练样本的期望输出量 d_k 不能设置为 1 和 0, 设置为 0.9 或 0.1 是较为合适的。

② 学习系数 α 的选择是一个影响学习过程的重要参数。在学习的初期阶段, α 要选得大一些, 以加快学习速度, 在临近最佳点时, α 必须选得小一些, 以避免算法不收敛, 或者采用一种称为“惯性系数”的调整算法, 来改进 BP 算法。

③ 在学习开始时, 权重系数的初值应设置为随机值。

④ 对于 BP 网络, 网络中各参数相对于 E 的变化, 具有极其复杂的“曲面”, 在“曲面”中存在着很多的极小点, 其中只有一个是全局最小点, 其余都是局部极小点。显然, 全局最小点是网络的解。因此, 初始权重系数选择不当, 可能造成学习结束时, 网络收敛到一个局部极小点上。

2.4.6.3 改进型的 BP 网络

(1) 学习速率可调的 BP 学习算法

BP 算法中, 学习速率不变, 是造成 BP 学习算法收敛速度慢的主要原因。如果网络中的参数调整, 有各自的学习速率, 并且这些学习速率可以根据误差曲面上的曲率变化自适应地调整, 那么, 网络的学习速率会加快。可以根据误差函数对网络参数的偏导数符号变

化,来决定相应参数的学习速率变化。

(2)含有惯性系数的 BP 学习算法

含有惯性系数的 BP 学习算法,是将时序 τ_k 时的系数调整量与时序 τ_{k-1} 时的系数调整量结合起来,从而产生一种惯性效应,使学习速率即使选得较大,算法也能收敛。

(3)传递函数陡度变化的 BP 算法

该算法是添加一个增益因子,以改变传递函数的陡度,达到提高 BP 学习算法收敛速度的目的。

(4)隐单元自构形 BP 算法

在前向神经网络中,输入层和输出层单元数是由问题本身决定的,隐含层单元数则要单独确定。隐含层单元数多,收敛速度慢;隐含层单元数过少,则可能导致不收敛。有效的办法是通过网络学习,自适应地改变隐含层单元数。

2.4.6.4 模糊神经网络

将模糊集与神经网络结合,充分利用两者的长处,研究模糊神经网络算法,并应用于工程领域,是神经网络领域的一个重要研究分支。

(1)模糊神经元

模糊神经元与普通神经元有许多相似之处,例如二者都是多输入单输出的单元,都是对输入信息进行非线性处理等,如图 2.17 所示。

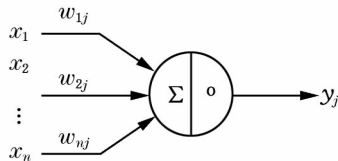


图 2.17 模糊神经元模型

模糊神经元与普通神经元的主要区别是,模糊神经元的输入、输出信息是模糊的,而且,在单元内部对信息的处理,采用的是模糊集的方法。因此,根据输入、输出信息和对信息的处理方法不同,模糊神经元一般可以分为以下几种。

广义模糊神经元如图 2.18 所示。这类模糊神经元类似于一个模糊关系 $\tilde{R} = (r_{ij})_{n \times m}$, 当输入向量 $\tilde{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 时, 输出向量为:

$$\tilde{Y} = \tilde{X} \circ \tilde{R}$$

式中: $\tilde{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$, 或者可写为下列各种运算式

①“最大最小模型”

$$y_j = \bigvee_{i=1}^n (x_i \wedge r_{ij}), j = 1, 2, \dots, m$$

②“最大乘积模型”

$$y_j = \bigvee_{i=1}^n (x_i r_{ij}), j = 1, 2, \dots, m$$

③“加权平均模型”

$$y_j = \sum_{i=1}^n (x_i r_{ij}), j = 1, 2, \dots, m$$

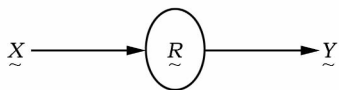


图 2.18 广义运算模糊神经元模型

(2) 模糊隶属度模型

这类模型是对输入信息进行加权操作, 并将结果作为隶属度。设 x_i 为神经元的输入, $\mu_i(x_i)$ 为其相应的隶属函数, 如图 2.19 所示, y_j 是神经元的输出, “ $\circ$ ”为模糊运算算子, 则可以通过下式计算 y_j :

$$y_j = \mu_1(x_1) \circ \mu_2(x_2) \circ \dots \circ \mu_n(x_n)$$

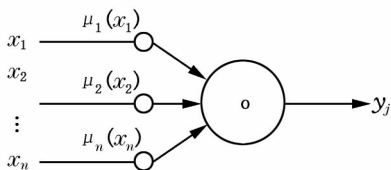


图 2.19 模糊隶属度神经元模型

(3) 全模糊量模型

全模糊量模型的输入是模糊集,加权是对整个隶属函数进行操作,单元内的运算是模糊运算,如图 2.20 所示。

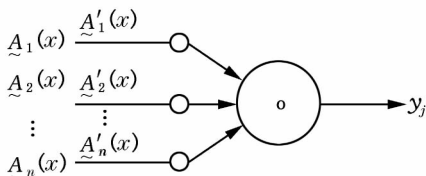


图 2.20 全模糊量神经元模型

设输入的信息是模糊集,其隶属函数为 $A_i(x)$, $i=1,2,\dots,n$,对隶属函数进行加权处理后,隶属函数转换为 $\tilde{A}'_i(x)$,然后对 $\tilde{A}'_i(x)$ 再进行模糊运算,“ $\circ$ ”为模糊运算算子,神经元的输出也为模糊集。

$$Y = A'_1(x) \circ A'_2(x) \circ \dots \circ A'_n(x)$$

$$\tilde{A}'_i(x) = \tilde{\lambda}_i \cdot \tilde{A}_i(x) \quad i=1,2,\dots,n$$

式中: Y 是神经元输出的模糊集, $A_i(x)$ 和 $A'_i(x)$ 分别是加权前后的第 i 个输入模糊集隶属函数, $\tilde{\lambda}_i$ 是对第 i 个模糊集输入的加权运算。

2.4.6.5 模糊双向联想记忆网络

模糊双向联想记忆(Fuzzy Bi-directional Associative Memory, FBAM)神经网络,是一类可实现模糊联想存贮及模糊映射变换的双向双层对称网络。在模糊联想神经网络中,若存贮的模式对为 $(\tilde{A}^{(s)}, \tilde{B}^{(s)})$,其中:

$$\tilde{A}^{(s)} = \left(\frac{a_1^{(s)}}{x_1}, \frac{a_2^{(s)}}{x_2}, \dots, \frac{a_m^{(s)}}{x_m} \right)$$

$$\tilde{B}^{(s)} = \left(\frac{b_1^{(s)}}{y_1}, \frac{b_2^{(s)}}{y_2}, \dots, \frac{b_n^{(s)}}{y_n} \right)$$

则网络第一层(LA层)有 m 个模糊节点,对应于 $\tilde{A}^{(s)}$ 的 m 个分量,第二层(LB层)有 n 个模糊节点,对应于 $\tilde{B}^{(s)}$ 的 n 个分量,各单元

之间有连接,并用权重系数来表示,如图 2.21 所示。网络联想由下列方程完成:

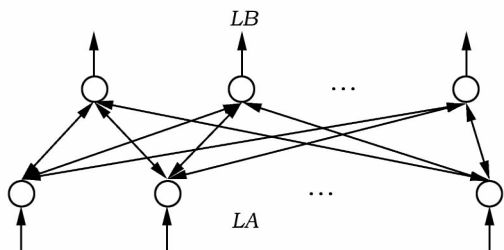


图 2.21 模糊双向联想记忆神经网络

$$\begin{aligned} B^{(s)} &= A^{(s)} \circ W \\ \text{或} \quad \widetilde{A}^{(s)} &= \widetilde{B}^{(s)} \circ R \end{aligned}$$

式中:“ $\circ$ ”为模糊极大与极小合成运算, $W = \{w_{ij}\}$, $R = \{r_{ji}\}$, $s = 1, 2, \dots, N$ 。

根据上述分析,模糊双向联想记忆神经网络的多模式对模糊联想记忆学习规则,可以归结为寻找使上式成立的模糊关系矩阵 $R = \{r_{ji}\}$ 。然而,在大多数情况下,这样的矩阵并不存在,即使存在,得到的也不一定是解,而且,对模糊联想记忆网络只进行一次训练,便形成网络的连接权矩阵,训练样本模式的选择对连接权的形成影响极大。

2.4.6.6 模糊 Hopfield 神经网络

(1) 模糊 Hopfield 神经元

模糊 Hopfield 神经元模型,如图 2.22 所示,图中 y_j ($j = 1, 2, \dots, n$) 表示第 j 个神经元输出, θ_j ($j = 1, 2, \dots, n$) 表示第 j 个神经元的阈值, u 表示并运算, f 表示截集运算。

模糊 Hopfield 网络的工作过程是首先按照给定的若干个模式,计算模糊关系矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$,并按照 R 给定网络的初始权重值,再给定阈值 $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ 和初始状态 $x_i(0)$ ($i = 1, 2, \dots, n$),然后网络自动完成迭代,并达到稳定状态,各神经元的二值输出即为结果。

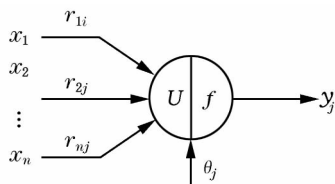


图 2.22 模糊 Hopfield 神经元

(2) 模糊 Hopfield 网络与离散型 Hopfield 网络的区别

模糊 Hopfield 神经网络从结构上看,就是离散型 Hopfield 神经网络,它们的区别在于:

① 模糊 Hopfield 网络具有自反馈全互联特点,而离散型 Hopfield 网络可以是无自反馈和非全互连网络。

② 模糊 Hopfield 神经网络中各神经元之间的连接权重,通过模糊关系矩阵来表示;离散型 Hopfield 网络各神经元之间的连接权重,则通过学习获得。

③ 模糊 Hopfield 神经网络的能量函数由 R 决定,离散型 Hopfield 网络的能量函数由 w_{ij} 决定。

④ 模糊 Hopfield 网络神经元的输入,是通过模糊运算而得到;离散型 Hopfield 网络的输入运算,则采用求和累加运算。

模糊 Hopfield 神经网络,是一个连接权为 $(r_{ij})_{n \times n}$ 的全互联自反馈网络,可以用一个 5 元组来表示:

$$FHN(U, R, \lambda, Y, O)$$

式中: FHN 表示模糊 Hopfield 网络;

U 表示神经元集合, $U = \{u_i | i = 1, 2, \dots, n\}$;

R 表示神经元互联权重,由模糊相似关系矩阵组成; $R = (r_{ij})_{n \times n}$;

λ 表示神经元阈值向量, $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)^T$;

Y 表示神经元输出向量, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$;

O 表示神经元的运算模式,通常采用“最大最小模型”或“最大乘积模型”。

采用向量表示模糊神经元的运算模式如下:

$$Y(t+1) = f[R \circ Y(t) - \lambda]$$

$$U = R \circ Y(t) - \lambda$$

$$f(u_i) = \begin{cases} 1 & u_i \geq 0 \\ 0 & u_i < 0 \end{cases}$$

2.4.6.7 人工神经网络的应用

(1) 多层感知器的映射功能

多层感知器是一种典型的前馈神经网络,目前研究最多的是 $M=3$,即只有一个隐含层的三层感知器。三层感知器属于映射型神经网络,能够把 N 维欧氏空间中的子空间 A 映射成 M 维欧氏空间中的子空间 $f(A)$,即:

$$f: A \subset R^N \rightarrow R^M$$

库尔莫格洛夫(Kolmogorov)从数学上证实了这种映射的成立,并提出下列定理:

定理 1 $\forall \epsilon > 0$ 和任意的 $L2$ 函数 $f: [0, 1]^N \subset R^N \rightarrow R^M$,总存在着一个三层的感知器,使得感知器完成的映射与 f 的均方差小于 ϵ 。

证明 由 Fourier 级数,对于任意给定的 $\delta > 0$,存在一个正整数 N 和 Q_{ik} ,使得下式成立:

$$\int_{[0,1]^n} \left| f_i(X) - \sum_i Q_{ik} e^{2\pi i k x} \right| dx < \delta$$

式中: X 为输入样本向量。

只要能够证明 Fourier 级数中的 $\sin(x)$ 和 $\cos(x)$ 项,可以由一个三层的 BP 神经网络的子集,以任意希望的绝对精度来实现就可以了。因为,任何曲线都可以由折线来逼近,而每一条折线可以通过一个三层的神经网络子集的分类功能来实现,所以,只要折线足够短,这种逼近精度可以达到任意高。

推论 对于一个三层神经网络,若隐含层神经元的数目为 $2N+1$,则该网络可以精确实现任意的连续映射,其中 N 为输入层节点数,即:

$$f: [0, 1]^N \subset R^N \rightarrow R^M$$

(2) 映射性质的应用

根据上述定理,可以看出,BP 网络的一个显著特点是具有很强的映射能力,在并不知道系统映射函数类型,或者无法写出系统映射函数解析表达式的情况下,只要用足够多的学习样本,对网络进行足够多次的训练,网络就能实现以任意的精度,逼近任何连续的函数,如图 2.23 所示。

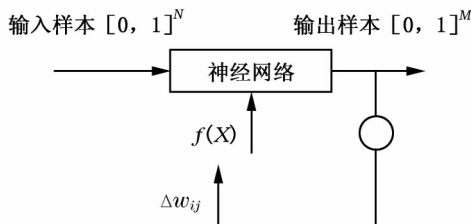


图 2.23 神经网络的映射功能实现

(3) 分类功能的应用

成组技术(Group Technology, GT)的本质在于探求多种不同生产对象之间的内在联系,把本来认为是独立的、互不相关的生产对象和生产环节,通过相似性原理,采用分类编码系统,借助编码使之特征化、系统化、统一化,以使各种具体的工程技术更充分、更有效地发挥作用。

GT 在企业制造过程中,打破传统的以产品分类依据的做法,而采用以零件作为分类的依据,将设计和制造上相似的各种零件,根据其结构、形状的相似性,归并成组,以成组的方式组织设计和生产,从而减少设计和制造上的工作量,降低零部件库存,节约制造成本,提高生产效率。成组技术为解决多品种、小批量生产企业,采用专业化设备和工艺装备,进行大批量生产问题,提供了有效的途径。成组技术的核心是对零件分组,传统的方法在很大程度上依赖于人的经验和主观判断,这不可避免地会造成许多误差。利用人工神经网络具有自学习、自组织能力和分类功能,采用成组技术提供的分类准则,

在对神经网络进行训练的基础上,就可以解决零件的分类问题。

1991年,Kaparthi和Suresh提出了用神经网络对零件形状进行分类和对旋转件进行编码的方法。他们二人应用三层BP网络,如图2.24所示,给网络提供的输入是零件图的二值映射,给网络提供的样本期望输出是与零件几何形状相对应的奥匹兹编码。采用误差反向传播算法训练网络,得到了零件结构、形状的恰当分类。

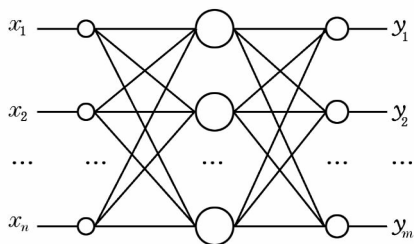


图 2.24 神经网络的分类功能实现

输入向量 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 是零件的特征向量(通常为二值向量),其中 x_i 是 X 的第 i 个特征分量,表示零件的第 i 个特征,输出向量 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$ 是零件的类别向量。如果零件属于第 j 类零件,则 Y 向量的第 j 个分量的元素 y_j 为 1,其余元素均为 0,即:

$$\text{当 } X \in j, y_j = 1 \text{ 且 } y_i = 0 (i \neq j)$$

(4) 联想记忆功能的应用

神经网络在工程设计中,可以用于产品设计和机械系统的设计。产品设计可以看作是功能要求空间到物理结构空间的映射。设计人员借助于长期的设计实践,通常已掌握了与产品功能要求相对应的可实现该要求的物理结构,并将这些结构以物理装置表述的方式在记忆作了大量的存贮。在设计过程中,根据一个具体产品的功能要求,设计者可以迅速且有选择地恢复这些表述,即实现对具体功能要求的结构设计。

模糊联想记忆神经网络,通常被用于存贮和恢复设计解。网络只能存贮一个模糊设计模式,即一个设计解对应于一个联想记忆神

神经网络。因此, n 个设计解就对应于 n 个模糊联想记忆神经网络, 其求解过程是:

将功能要求和设计约束所构成的特征向量输入网络, 输入向量在 n 个网络中进行正向和反向传播, 每个网络都输出一个解向量, 然后选择最接近于输入向量的模式, 作为所需要的向量, 那么这个网络所表示的设计解就是所需要的解, 如图 2.25 所示。

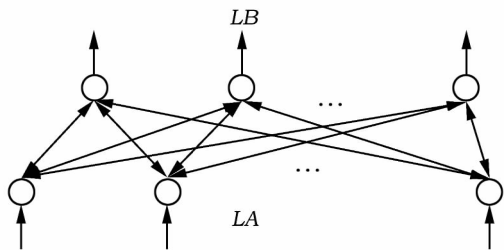


图 2.25 神经网络联想记忆功能的实现

2.4.6.8 神经网络的设计

(1) 输入信号的选取

为了更好地逼近输入和输出函数关系 $u = f(x)$, 三层神经网络的输入可以选择 X 及其他的更高阶导数。如果关系曲线 $u = f(x)$ 的变化较大, BP 网络的输入个数要多一些, 以保证输入信息丰富, 且逼近函数关系 $u = f(x)$ 较为容易, 但网络的规模会较大。

(2) 隐含层节点数的确定

一般来说, 隐含层节点个数多, 可以使 BP 网络逼近函数关系 $u = f(x)$ 的精度提高, 但这样会造成网络规模较大, 甚至可能导致网络不收敛, 因此, 隐含层节点数应有一个适当值。

(3) 训练样本的选取

样本点的选择对 BP 网络逼近函数关系 $u = f(x)$ 有很大影响, 在曲线 $u = f(x)$ 变化激烈处, 样本点应选择得密集一些, 在曲线平缓处, 样本点可以选择得少一些。

3 知识劳动度量理论

3.1 知识及其特性

3.1.1 知识的含义及类型

3.1.1.1 知识的含义

知识是一个内涵丰富、外延宽泛的概念,对知识的定义有很多。戴文波特(Davenport)^[2]认为,知识是一种有组织的经验、价值观、相关信息及洞察力的动态组合,所构成的结构可以不断地评价和吸收新的经验和信息。知识存在并作用于人们的大脑,在组织机构中,知识蕴含在组织的工作程序、工作过程和工作惯例之中,存在于文件和档案之内。

王众托院士提出从三个方面去理解和认识知识的本质^[3]：

(1)知识是人类在实践中获得的有关自然、社会、思维等现象与本质的认识的总结。

(2)知识是具有客观性的意识现象,是人类最重要的意识成果。

(3)从静态的角度看,知识表现为有一定结构的知识产品,从动态来说,知识是在不断地流动中产生、传递和使用的。

中国国家科技领导小组在《关于知识与国家基础设施的研

究报告》中,关于知识的定义是:

知识是经过人的思维整理过的信息、数据、形象、意象、价值标准以及社会的其他符号化的产物,不仅包括科学技术知识,还包括人文社会科学知识、商业活动、日常生活和工作中的经验和知识,人们获取、运用和创造知识的知识,以及面临问题作出判断和提出解决方法的知识。

3.1.1.2 知识的类型

知识包括事实、经验、规则、规律、方法和理论等,是人类长期社会实践经验的总结和积累。人类知识通常包含两部分,一部分是来自于书本和文献中的知识,包括各种概念、定理、公式、公理等,通常称之为言传性知识或显性知识;另一部分是蕴藏于人们头脑中没有表达出来的经验和技巧等,一般称之为意会性知识或隐性知识。

知识按照不同的分类方法,可以分成不同的类型,根据知识所表示的内容,一般来说,知识可以分为以下几类:

(1)对象(Object)性知识

对象性知识主要是说明对象的有关事实和常识,包括对象的类型、性质、特点和性能等。

(2)事件(Event)性知识

事件性知识主要是描述现实世界中所发生的动作和事件,涉及事件的类属、特征和事件发生的对象、时间与过程及其事件发生的因果关系。

(3)性能(Performance)性知识

性能性知识是表达做一件事或完成一项工作的技术、技巧,是一类超出了对象性和事件性知识之外的知识,决定一个人独立工作、解决问题的能力与水平。

根据知识所描述的学科、领域和专业来划分,知识可以分为自然知识、社会知识与思维知识。

按照联合国经合组织报告的分类法,知识可以分成四类:

(1)是什么的知识;

(2)为什么的知识;

(3)怎样做的知识;

(4)是谁的知识。

“是什么的知识”描述的是关于实际经验、客观事实、统计数据等方面的知识。

“为什么的知识”表示的是那些自然界、社会现象和人的思维活动的法则和规律的科学知识。

“怎样做的知识”表示的是指导和帮助人的行动和行为的知识,表示技能和诀窍方面的知识。

“是谁的知识”表示谁知道知识,谁知道什么样的知识。

3.1.1.3 智力与智能

智力与知识有着十分密切的关系,智力是人们运用知识分析问题和解决问题的能力,智能则是由知识和智力共同决定的,是知识集合与智力的综合。人类具有智能,可以做出极其复杂的智能行为,解决许多复杂的智能问题。人类的智能水平依赖于人们的长期实践和反复不断的学习,依赖于个人所掌握的知识,是一个逐步提高、渐进上升的过程。

3.1.2 知识的特性

3.1.2.1 知识的基本特性

王众托院士给出了知识的五个基本特性^[3]:

(1)知识是可以分享的,一个人所掌握的知识并不妨碍他人同时对这些知识的掌握和拥有。

(2)知识是可以跨越时空传递的,古老的知识可以不间断地流传、延续至今,一地的知识可以传递到其他地方

(3)知识是可以重复利用的,不存在损耗。

(4)知识是可以再生的,具有复制和扩散的能力。

(5)知识具有不可替代性,知识在经济活动和生产过程中的作用,不是其他生产要素,如劳动、资本、能源,可以替代的。

知识除了具有上述五个特性外,按照人工智能、知识工程和不确定性的观点来看,知识还具有其他特性。如,知识既具有相对真理

性、不完全性、模糊性和不确定性等知识本身的属性,也具有可表示性、可处理性、可存贮性等知识操作层次上的特性。

3.1.2.2 知识表示与处理

(1) 知识表示的基本观点

知识表示(Knowledge Representation, KR)是知识获取和知识处理的基础,是把已有的知识,从大脑、书本或专家那里总结和抽取出来,并转化成某一种形式的表示,是研究如何采用最合适的形式,来组织和表示这些已吸取来的知识,并如何能够使机器学习和掌握这些知识,所以,知识表示就是研究知识机器表达的可能性、有效性、通用性的原则和方法。

迄今,知识表示的方法已有 10 余种,这些方法归纳起来主要有:谓词逻辑的方法(主要是一阶谓词逻辑)、产生式规则的方法、框架或剧本的方法、语义网络的方法、特性表的方法及直接或模拟的方法。

不同的知识表示方法具有不同的特点,各适用于表示不同的知识对象,一般要根据知识所表示的对象及领域知识的特点,从中选择一种或多种方法进行知识的表示。

按照对知识的研究角度与知识表示的对象及对问题的不同理解,知识表示有两种基本观点:

① 陈述性(Declarative)观点

陈述性观点认为,知识就是要告诉人们所处理的对象是什么,知识表示就是陈述与对象有关的事实和规律。该观点的特点是将知识表示和知识运用分开处理,在表示知识时并不涉及如何运用和处理知识。

陈述性知识表示具有灵活简捷,演绎过程完整、确定,系统模块性强等优点;缺点是工作效率低,推理过程非透明,不易理解。

② 过程性(Procedural)观点

过程性观点认为,知识是要告诉人们怎么做,知识表示就是描述过程,该观点将知识表示和知识运用结合起来,强调知识只蕴藏于过程之中。

过程性知识表示的优点是推理过程直接、清晰,有利于模块化处

理,易于利用特殊领域的启发性信息,来避免推理思路的不相关和不自然,实现起来效率高;缺点是灵活性差,知识增加、删改和更新不便。

(2) 知识的获取

知识的获取(Knowledge Acquisition,KA)是指通过人工的方法或机器学习、机器感知的方式,使机器从外部环境获取知识的过程。知识可以来自多个知识源,如研究报告、教材课本、实验数据以及个人经验等,其中主要知识源是领域专家。知识工程师依靠领域专家给出的数据与资料或提供的结论与思考方法,采用知识编辑器,把知识传授给知识处理系统。知识获取的基本方式,如图 3.1 所示。

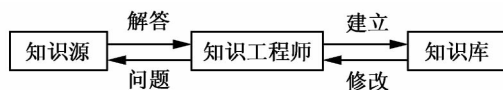


图 3.1 知识获取的方式

(3) 知识处理

知识处理(Knowledge Processing,KP)主要包括推理、搜索、知识管理与维护及匹配与识别等。推理是研究前提与结论之间的逻辑关系及真度的传递规则。搜索则是探究如何从一个浩瀚的对象空间中找到满足给定条件的特定对象。知识管理与维护,涉及知识库的各种操作;匹配与识别则研究数据或对象与给定模板“匹配”的原理和方法,以及在仅有的不完全信息或知识的环境下,识别各种对象的原理与方法。

3.2 知识劳动者与知识劳动

3.2.1 知识劳动者

知识劳动者(Knowledge Worker)的概念由美国著名管理学家彼得·德鲁克首先提出和使用^[4]。德鲁克在使用这个术语时,所指的知识劳动者主要是经理人或者执行经理。斯卡勃罗夫(Scar-

brough)则认为利用自身的知识资源,解决复杂问题的软件工程师、管理咨询人员、金融分析员及科学研究人员等新型人员为知识劳动者^[5]。现在,知识劳动者在实际应用中已经扩展到大多数白领或者职业经理人员、工程技术人员等多个阶层,指的是那些掌握、运用符号和概念,利用知识或信息工作的人员。

知识可以看作是一个过程,换言之,在任何时间和阶段,知识都有存量,在任何时间间隔,知识都存在着流量。知识也可以看作是一种产品,既然知识是一种产品,那么,沿着知识生产、分配和销售的路径,知识劳动者就可以分为三种类型:第一类是知识生产者,第二类是知识分配者,第三类是知识转让者。

知识生产者的主要工作是生产知识。例如基础科学和应用科学研究,以及技术创新与技术开发等。

知识分配者的主要工作是分配知识,例如教育工作者、公共信息传播者,知识分配者即把已有的知识分配和传播出去,使得更多的人能够分享和利用知识成果,以创造更加丰富多彩的物质产品和精神产品。

知识转让者的主要工作是把知识转让到经济部门和社会部门,特别是转让到企业,使知识在企业中得到应用。知识本身是一种独立的商品,生产知识是需要知识生产者付出大量辛苦的劳动,本身具有很高的潜在价值。但是,如果知识不转让,那么,这种潜在价值就无法反映和体现,价值只有通过交换才能得到体现。知识转让和应用为知识价值的体现,提供了一条途径。

知识劳动者有着自己的工作特性,这种工作特性决定了知识劳动者有着与众不同的工作性格特征。

一般来说,知识劳动者是一类追求自主、强调个性、重视多样化和创新能力的群体,他们更看重来自于工作本身所带来的满足感、成就感。具体来说,他们有以下特点:

(1)主要从工作所具有的挑战性、成就感及对自身能力的提高所带来的可能性中获得满足。

(2)忠诚于自己所学的专业而不是公司,有自己的福利最大化函数,

在企业与个人的双向选择中,往往具有较大的选择权,居于主动地位。

(3)为了使自己所掌握的专业知识、所达到的专业水平,能与国内外发展现状、趋势保持一致,他们不得不经常补充知识、更新知识。

(4)由于知识工作的长周期性、风险性和不确定性,知识劳动者的工作时间很少被定义为每天工作 5~8 小时,每周工作 5 天的正常作业时间,他们的工作没有严格意义上的休息时间与工作时间的界限,休息经常与工作混合在一起,工作时间每天可以高到 12 个小时以上。

(5)一般都有较高的薪酬,并希望在工作中拥有更大的自由度和更多的决定权,同时也很看重上级领导的重视、同级同事们的帮助和下属人员的支持。

(6)工作更多地依赖自身所拥有的知识而不是外在条件或工具,因此,他们具有更大的流动性。

3.2.2 体力劳动与脑力劳动

人类劳动是多种多样的,劳动的具体形式也是千差万别的。各种不同的具体劳动之间既存在着本质上的不同,也存在着形式上的差异。但是,如果撇开各种劳动的具体形式,从抽象的角度去分析,人类劳动就只有脑力和体力的支出与消耗,这是各种劳动所共同具有的特征,脑力劳动和体力劳动正是人们对人类劳动的抽象划分。

严格地说,脑力支出即大脑的思维过程是脑力劳动,体力支出即体力的消耗过程是体力劳动,但在任意一个具体的劳动过程中,大脑的思维过程与体力的消耗过程都是紧密联系的,无法截然将二者分开。因此,人们常把大脑思维过程所占比例较大的劳动,称为脑力劳动,体力消耗过程所占比例较大的劳动,称为体力劳动。

脑力劳动和体力劳动在劳动过程中既密切联系,又相互作用,且有着各自不同的特点。

体力劳动是人体生物能以一种机械力的方式输出的过程,这种能量输出,通常是由人体部分或全部骨骼肌收缩所引起的,是以劳动者完成按序重复的劳动动作的形式来实现的。体力劳动一般都有劳动者与劳动对象客观上的相互作用,并且有劳动对象事实上、客观上

的变化。体力劳动从开始劳动到产生劳动效果之间的时间跨度较小,大多数体力劳动开始后,即刻就会见到劳动的效果。

脑力劳动则是大脑思维、想象和分析的过程,是精神运动的过程。脑力劳动一般没有劳动者与劳动对象客观上的相互作用,没有劳动对象事实上、客观上的变化,只有劳动者对劳动对象及劳动对象变化的思维、想象与分析。脑力劳动从开始劳动到产生劳动效果之间的时间跨度较长,一般来说,短期内不能看到劳动的效果。

3.2.3 知识劳动及其特点

脑力劳动和体力劳动是人们对人类劳动的抽象划分,这种划分为区别两类不同劳动之间的本质差别,为学术研究和理论研究提供了方便。但是,在实际劳动过程中,我们既看不到脑力的消耗和支出,同时,也无法直接观察到体力的消耗和支出(对体力的消耗支出,采用仪器间接测量的除外),因而,这种脑力劳动和体力劳动的划分,为脑力劳动度量带来了困难,也为从知识的角度划分劳动类型,从而度量知识劳动带来了契机。

知识劳动是知识劳动者应用知识和处理知识的过程,是一个基于知识的求解过程。在这个过程中,知识被逐步处理和推进,并在处理中不断反馈和完善,即在知识劳动过程中,根据最终劳动成果的要求,一步一步地对劳动对象进行处理,每一步处理的结果都会被反馈和评价,并启发、提示下一步的处理策略和方向,进而进行下一步的处理,如此循环往复,直到劳动对象满足规定的劳动成果的要求。

从劳动的角度看,知识既可以是劳动对象,也可以是劳动成果。在知识劳动中,知识劳动者已掌握的知识是作为劳动对象出现的,是劳动者在劳动过程中处理和加工的对象,并通过知识劳动者的劳动,如科技创新和科技发明等,转换为新的知识,形成新的劳动成果。从价值论的角度分析,知识既具有价值,也具有效用,但知识是一种抽象的物,自身不能创造价值。在知识劳动中,知识一般有三种流向,第一是流向劳动成果,包括消费品、资本品和作为再生产的劳动对象;第二是流向劳动资料和生产工具,并且物化于劳动资料和生产工

具,以提高劳动资料和生产工具的先进程度、使用效率,凝结于劳动资料和生产工具中的知识,是一种物的知识,在使用该工具进行下一轮劳动的过程中不能创造新的价值,而只能将其内含的价值进行转移,劳动资料和生产工具中物化的知识越多,在劳动过程中转移到劳动成果中的价值也越多;第三是流向劳动者个体,并通过劳动者自身的消化、吸收和理解,内化于劳动者个体,使劳动者的素质和能力得到全面改善和提高。吸收和消化了知识的劳动者与其原来的性质和状态相比,有了明显的不同,所提供的劳动与其原来提供的劳动相比,也有了质的飞跃,能够在劳动过程中创造出更多的价值。劳动者掌握的知识越多,在劳动过程中创造的价值也越多。

知识劳动与脑力劳动既有相同点,又有不同点。

相同之处在于二者都是以大脑的思维、分析、比较、判断和综合为主要的分析方法和劳动工具,都需要应用已有的知识、经验和学识,去进行推断和推理。知识劳动和脑力劳动的成果都需要与体力劳动相结合,才能体现出知识劳动和脑力劳动的价值。

知识劳动与脑力劳动的不同支出在于知识劳动是一种特殊的脑力劳动,与一般性脑力劳动不同的是,知识劳动具有一个确定的、可以用知识表示的劳动对象,劳动过程是知识劳动者应用已有的知识对进行知识表示的劳动对象,进行逐步处理和分析来实现的,知识劳动末了一般也可以形成以知识表示的劳动成果。

一般性的脑力劳动不一定存在着实际的、客观的、可以知识表示的劳动对象,也不一定有脑力劳动者与劳动对象客观上的相互作用和劳动对象事实上、客观上的变化,脑力劳动可以是脑力劳动者对劳动对象及劳动对象变化的思维、想象与分析。

3.3 知识劳动度量的现状与困境

3.3.1 知识劳动过程的复杂性

从知识劳动的组成可以发现,知识劳动者、知识劳动的对象和知

识劳动的资料是任一知识劳动过程都不可缺少的三种元素,称之为知识劳动的三要素,其中,劳动资料包括劳动工具及驱动劳动工具的能量物质等。

既然知识劳动者、知识劳动对象和知识劳动资料是知识劳动过程的三个要素,那么,知识劳动过程的复杂性就应由知识劳动过程的三要素特性体现出来。

首先,从知识劳动者的要素来看,任一知识劳动过程都包含了知识处理过程和体力消耗过程,是知识处理过程和体力消耗过程的结合,而且,在一定的生产技术和组织条件下,对一个具体的知识劳动而言,知识处理过程与体力消耗过程是确定的、不以人的意志为转移的,存在着一定的比例。现代科学技术的发展,劳动过程的自动化和劳动工具的智能化,使这个比例值越来越大,即劳动过程中知识处理过程的成分越来越多。知识处理过程从劳动者的角度分析,是知识劳动者应用前期已有知识进行大脑思维、分析和推理的过程,是知识处理的过程,是一种极其复杂的劳动,因而使知识劳动过程具有明显的复杂性。

其次,从知识劳动对象要素来看,观察和探究人类生产与生活中一切知识劳动成果的源流,可以发现,这些知识成果都曾是或将是劳动对象,都是知识劳动者在不同时期通过对前一时期劳动成果的再加工和再处理来完成的,劳动对象是如此的繁多,而且,几乎每一种知识劳动对象都需要人们以不同的劳动方式去加工,知识劳动对象的多样性决定了劳动方式的多样性,而知识劳动对象和劳动方式的多样性,是构成知识劳动过程复杂性的又一个因素。

再则,从劳动资料的角度分析,知识劳动的对象不同,作用于知识劳动对象的劳动工具或劳动工具的状态及驱动劳动工具的能量物质就不可能完全相同,即使是同种知识劳动对象,通过对其的加工和处理,能够转变成的知识劳动成果也不可能完全相同。知识劳动对象、劳动成果的多样性,要求劳动工具及驱动劳动工具的能量物质具有多样性,而劳动工具、能量物质的多样性,也构成了知识劳动过程的复杂性。

3.3.2 知识劳动度量研究现状

综合知识劳动过程的三要素特性,可以看出,知识劳动实质上是知识劳动者应用知识和处理知识的过程,是大脑思维、分析、比较、判断和综合的过程,因而从大脑生理变化及其与其他生理指标关系的变化中,寻找可能的知识劳动度量方法,仍然是国内外许多学者研究知识劳动的基本思路和方法之一。然而,由于神经系统的复杂性,在目前的科学技术水平条件下,人们还不能完全了解大脑在处理信息和知识时所发生的复杂的生化反应,还不能掌握大脑处理信息和知识的本质与过程。

(1) 基于生理指标的度量方法

尽管如此,国内外还是有一些学者从某些模拟的大脑思维过程入手,试图研究在劳动过程中或在劳动过程结束后人的心率(Heart Rate)、脑波(Brain Wave)、血压(Blood Pressure)等的变化,尝试从生理的角度,寻找大脑思维(Mental Workload)与这些生理指标的关系,如 Anil 和 Majorkumar 等人指出,心血管系统(Cardiovascular System)通过心率的增加、血压的升高和心肌的收缩,来响应体力和脑力劳动的紧张,因而提高了氧耗量,进而 Anil 和 Majorkumar 认为,氧耗量可以用于度量脑力和体力劳动量;Bunji 和 Seiichi 等采用心率分析,对飞行器驾驶员的脑力劳动进行了评定;Yoshitaka 和 Takeyoshi 等应用心率、脑波和触觉响应等生理反应指标,评价了一种新研制的半自动装置是如何减少驾驶员脑力劳动量的;Geoffrey 和 Richard 讨论了知识劳动者的脑力支出与疲劳在工作输出、心率和脑波等度量指标上的关系;Mieko、Hiromi 和 Futomi 等研究了采用心血管系统的生理自治调整模型,评定脑力劳动量问题。

国内外的这些研究意味着在脑力劳动度量方面已取得了一些成果,但这些研究仅从特殊的工作出发,依据一些典型的模拟试验过程来采集数据,数据明显受到工作性质、人员差异、环境特征等的影响,且在研究过程中需要高精密的仪器和大量的人力、物力及财力投入,因而,仍然无法从生理的角度,建立基于大脑生理变化的知识劳动度

量理论与方法。

(2) 在工作测定方法的应用方面

在工作测定方法中,引入抽样技术是研究知识作业测时的一种常用的方法。1976年,Richardson等给出了较为完善的工作抽样测定法(Work Sampling System, WSS)。史密斯(Smith)阐述了美国政府应用WSS进行劳动时间测定的方法,指出:“美国政府制定了一项对全国政府机构人员进行劳动量测定的计划,采用的是工作抽样测定法。该计划从一个中心位置出发,在全国范围内布置观测点,预先编制好观测进度,逐日地收集观测结果,并由计算机指定待观测的群体和个人,以保证样本的随机性和代表性。”英国劳莱斯公司不仅对生产工人,而且对职员和辅助人员的劳动时间也进行过抽样测定。杨体仁、祁光华二人提出将工程技术人员的工作时间影响因素,概括为图纸幅面、视图复杂性、设计创造性、结构原理的复杂程度等4项,以最简单和最常用的一种因素组合作为测时的对象,对其他因素组合的时间,通过系数修正的方法得到。

另一方面,基于测时数据的劳动度量模型研究,也得到了发展。Smith系统研究了基于多元回归技术的劳动测算模型建立的方法。Lin Ding-Yu等人通过对管理作业(Supervisory Tasks, ST)的分析,确定了与管理作业相关的9个要素,并将这些要素组成一个测试库(Test Banks),在FMS(Flexible Manufacturing System)环境下,选择跨距(Span)、辨别(Discriminate)、预测(Predict)和转移注意力(Transfer Attention)等4个要素作为该环境下的主要因素,然后,对要素进行测时,建立了一个多元回归方程,用于度量FMS系统中技术人员的劳动量。

在绩效评定和岗位评定方面

早在20世纪50年代后期,美国电话电报公司(American Telephone and Telegraph, ATT)研究部,就建立了美国第一家评定中心(Assessment Center, AC),AC运用智力测验技术和心理学原理,根据1份包括8~25种不同职能的标准表,以小组讨论、访问、事务决策等方法开展工作。Wolfgang提出两种评分技术:一是事先设定

一套指标,然后,依据劳动效果计算和修正指标值;二是基于既定结果的仔细观察法。南京航空航天大学的陈毅然教授提出,对工程技术人员的劳动度量,采用工作要素打分法。董果雄、张社华通过对劳动过程的系统分析和对劳动量进行寻“根”求“源”的研究,给出工程技术人员劳动度量的评分方法。赵金生、刘晓风探讨了岗位劳动评价技术在劳动度量中的应用。

文献[13~31]通过对工程技术人员劳动过程等的分析,提出了工程技术人员劳动度量的模糊方法,研究了神经网络、知识工程、模糊集等在工程技术人员劳动度量中的应用。

当前研究存在的缺陷与不足

(1)在作业测定方面

首先,知识劳动是应用知识和处理知识的过程,是一种大脑思维、分析、综合和推理的过程,是一种极其复杂的劳动,具有多样性、复杂性。工作测定法忽略了知识劳动过程的多样性和复杂性特点,致使在进行劳动时间测定时,必须逐一测量各知识劳动过程,因而要付出巨大的人力、物力和财力,以至于工作测定所花费的成本远大于工作测定所带来的收益,这使得工作测定技术在知识劳动度量中的应用受到了很大的限制。

其次,单纯测量作业时间值,无法反映不同类型知识劳动过程之间、同一类型知识劳动过程不同类型知识劳动对象之间在劳动量方面存在的差异,也没有考虑相同类型的知识劳动,在进行同类型劳动对象处理时,其信息处理机制的相似性及劳动对象的不确定性、不完整性和不精确性。

(2)在绩效评定方面

尽管绩效评定研究多年来始终致力于发展一种“理想的(精确的)”评定模式,但最终都是徒劳的。多年来的研究表明,有一个结论是肯定的——无论什么评定模式都会有评定错误。这些错误既来自于评定指标或评定标准的选择、每项指标内容和指标权重的确定,也来自于评定者各自不同的评定思想、价值观和受教育程度等。

(3)在岗位评定方面

岗位评定技术在过去的 50 年里不断地被应用,但仍有许多管理者怀疑甚至敌视它,认为建立和运作岗位评定技术的代价高昂,很少有事实说明,岗位评定技术减少了员工的不满,而且由于岗位评定所带来的僵化,企业更难以快速地响应市场的变化。克尔和费西尔甚至认为,岗位评定远不如引进它的背景和管理它的方式更有意义。

3.4 知识劳动度量的途径

知识劳动过程的复杂性,决定了知识劳动度量的复杂性,但并不等于知识劳动无法度量。由于知识劳动在劳动者、劳动对象、劳动工具及驱动劳动工具的能量物质上的特殊性、多样性,知识劳动的具体形式是多种多样的,在多种多样的知识劳动中,每一种知识劳动都有区别于其他知识劳动的个性,各种知识劳动之间又有着相同的共性,正是知识劳动过程之间的共性,为纷繁复杂的知识劳动度量提供了可能。我们从知识劳动的三要素分析入手,以探索知识劳动所具有的共同特性,寻找知识劳动度量的基本方法。

3.4.1 知识劳动的三要素分析

3.4.1.1 劳动者要素

从劳动者要素的角度分析,知识劳动主要是知识劳动者脑力支出的过程,是知识劳动者应用其自身的思想、知识、技能和经验,采用逻辑推理和抽象推理的方法,以分析、比较、综合和推理作为劳动的主要方式完成的,是大脑接收、传递和加工信息的过程,是一种脑力劳动。

大脑作为一个复杂开放的信息处理动态系统,其处理信息的机制和过程十分复杂而且多样化,现代科学尚难给以准确而详细的描述,但基于对大脑组织特征的认识和一些生理实验的结果,人们发现大脑神经系统处理信息的微观结构是以离子电流为基础的、由大量神经细胞元组成的非线性(Nonlinear)、可适应(Adaptive)、并行(Parallel)和模拟(Analog)的网络(Network),称为 NAPAN。

在脑神经系统中,细胞只有兴奋和抑制两种状态,信息的收集、处理和传递都在细胞上进行,依靠细胞神经网络的超并行性,实现对信息的实时处理和表现的多样性,细胞突触结构的可塑性,使网络具有记忆和学习功能,突触连接的自组织并随学习而变化的特性,又使网络具有强大的自适应功能,能够处理不完整和不精确性信息,并在信息处理过程中表现出很强的模糊性和不确定性。

3.4.1.2 劳动对象要素

知识劳动的对象是多个离散(或连续)的文字、符号、图像和表格,这些离散(或连续)的字符和图表,表面上看似是简单的、易懂的,实际上则是按一定方式和规则排列的,基于特定的结构和逻辑关系,表达的是复杂多变的知识,具有不精确性、不完整性和不确定性。

①同一知识劳动,其劳动对象有多种类型,如工程设计劳动,就有多类不同的设计对象;②对于同类型的劳动对象,各对象之间具有“质”上的相似性,即同类型劳动对象所表述的范围与内容、特征与层次等是相同或基本相同的;③同类型劳动对象中,各对象之间的差别主要体现在描述具体对象所使用的语言修辞有着程度上的不同,若以变量值来反映这种不同,就表现为劳动对象“量”上的差异。

3.4.1.3 劳动工具要素

知识劳动者在劳动中所使用的工具,是标准的和规范的,具有轻载性和规范性,符合人机工程学原理,满足知识劳动者的心理和生理要求,因而,不同的知识劳动者在单位时间内完成的劳动量趋近相等,这为计时制原理在知识劳动度量中的应用,提供了可靠保证。

3.4.2 知识劳动的知识处理过程

知识劳动过程中的知识处理

知识劳动是一个基于知识的求解过程,这可从知识劳动者的知识获取、知识处理与更新、要处理对象的特性等角度来分析。

(1)知识劳动者的知识获取

一般来说,知识劳动者在从事知识劳动之前,已通过亲身参加实践的 direct 学习或借助于书本的间接学习,掌握了大量自然科学领域、

工程技术领域和社会科学领域的知识,这是知识劳动者从事知识劳动的基础,也是一个初期知识获取的过程。

(2) 知识劳动中的知识处理与更新

在知识劳动的过程中,知识劳动者往往不得不面对许多复杂的问题,这些问题通常都涉及了众多学科和领域的知识,有的知识是知识劳动者初期已经掌握的,有的则是未知的,所以,在劳动中,知识劳动者经常要采用所谓“启发式”的工作方法,即在工作中不断地、反复地进行试探和筛选,在试探和筛选中,获得“反馈”和“评价”信息,在“反馈”和“评价”信息的基础上,对以前的工作构思、工作方案进行分析和判断,并根据分析和判断的结果,启发提示下一步的工作策略和方向。无论是试探和筛选,还是评估和启示,都需要知识劳动者运用大量的领域知识,处理各类复杂多变的问题,同时知识劳动者的知识也得到修正、补充和丰富。

其次,在知识劳动者劳动的过程中,“演绎法”、“归纳法”和“抽象法”是十分常用的方法,“演绎法”能够从一些已知的方案中,逐步推算出各种蕴含着的结论或从一些已知的方案中稍加修改、调整,推导出改进的方案。不过,“演绎法”通常不能创立新概念和深化已有的方案。相比较而言,“归纳法”和“抽象法”,则更适用于知识劳动者的劳动,因为,只有运用归纳和抽象,才能提出新思想,创立新概念,推出新方案,使知识劳动者的劳动保持旺盛的生命力。这实际上是一个知识处理和知识更新的过程,是知识劳动者劳动过程具有的一个显著特点。

(3) 知识劳动者劳动对象的特性

在知识劳动者的劳动过程中,知识劳动者所面对的工作任务及由工作任务归纳出的工作方案、工作对象等,都是不确定的,即知识劳动者的劳动对象具有不确定性,知识劳动者劳动对象的特性与知识的属性是一致的。知识劳动过程的知识处理模型见图 3.2。

通过上述对劳动过程和知识劳动者劳动过程的分析,可以得到如下结论:

① 劳动者、劳动对象和劳动资料是劳动过程不可缺少的三种要

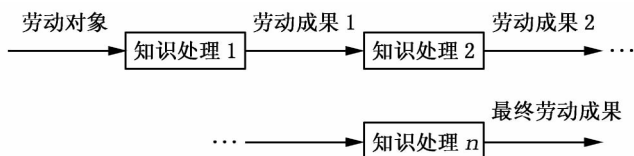


图 3.2 知识劳动过程的知识处理模型

素,任一劳动过程都是脑力劳动和体力劳动的结合,而且,在一定的生产技术和组织条件下,对一个具体的劳动过程而言,脑力劳动与体力劳动是确定的,存在着一定比例。

②劳动时间是衡量劳动量大小的尺度。

③知识劳动是以大脑思维过程为主的劳动,是一种脑力劳动。

④知识劳动者的劳动由若干劳动过程组成,各劳动过程都有相应的工作程序、工作步(骤)和操作。

⑤知识劳动者的劳动是一个基于知识的求解过程,是一个知识处理系统,在这个系统中,系统的输入和输出都是具有不确定性特点的知识。

3.4.3 知识劳动度量的必要性

随着科学技术的发展,生产的高度自动化,知识劳动者在全社会劳动者中的数量正逐渐增加,在生产过程中体力劳动和知识劳动的比重也在不断发生变化,知识劳动在整个劳动过程中所占的比重越来越大。科技劳动、经济管理劳动都是创造价值的重要源泉,生产的发展,经济效益的提高,乃至社会的进步,都越来越依赖于科学技术,依赖于知识劳动的成果,这就决定了不仅要对体力劳动进行度量,而且也必须对知识劳动进行科学度量,实施有效的管理,只有这样,才能不断提高劳动生产效率,促进社会关系的全面、协调和发展,推动社会生产力的不断进步。

在我国,自改革开放以来,许多企业都开展了大规模的设备更新与设备改造工作,引进了大批自动化程度高、具有国际先进水平的自动化设备和生产线,这一方面使企业的硬件水平得到了大幅度提高,

另一方面也促使企业的生产性质逐步发生了根本性的变化,即生产过程中知识劳动的比重逐步提高,体力劳动的比重逐渐降低。知识不仅是财富的重要资源之一,而且是一种首要的资源,已成为人们的共识。在这种生产背景下,如果仅仅对体力劳动进行度量,势必会造成企业资源的巨大浪费,制约和阻碍企业的可持续发展,也不利于全面改善生产关系和推动社会的进步。

从世界范围看,世界经济发展很不平衡,发展中国家技术环境相对落后,在目前情况下还无法有效地抗衡发达国家对人才的吸引力,这样就造成了本国人才的大量流失。近年来,国家之间人才流动的一个显著特点就是知识劳动者移民的比重增大,非知识劳动者移民的比重减小。发达国家所实行的移民政策和优越的技术环境均促成了这种定向流动的不断加速,导致知识移民越来越成为一种广泛的国际现象。

类似地,在一个国家的内部,人才流动也严重失衡,大量知识劳动者从边远贫困地区向经济发达的地区流动,如我国西部、西北部、中部地区长期以来存在的“一江春水向东流”和“孔雀东南飞”现象。

知识劳动者的流动日益频繁,流动方式也层出不穷,如实行公开招聘,用人单位可以自由选择人才,人才也可以凭借实力自由选择单位,这种方式受到了知识劳动者的推崇。

造成知识劳动者流动的因素很多,除了社会环境因素、组织因素以外,个人因素所造成的流动十分普遍。知识劳动者注重的前四个因素依次为:个人成长、工作自主、业务成就和金钱财富。知识劳动者通常更加重视能够促进他们不断发展的、富有挑战性的工作,对知识、个人和事业的成长有着持续不断的追求,会要求给予更多的自主权,使之能够以自己认为有效的方式进行工作并完成自己所担负的任务,获得一份与自己的贡献相称的报酬,并使得自己能够分享到自己所创造的财富。

因此,无论从调动知识劳动者的积极性和创造性的角度看,还是从协调知识劳动者与体力劳动者的关系角度分析,对知识劳动度量都势在必行。

3.4.4 知识劳动度量的可行性

当代科学发展的一个显著趋势是学科之间相互渗透、相互融合,学科之间的界限明显减弱。学科之间的渗透与融合,推动着学术研究的创新以及理论、方法的创立,产生了许多新的思想和新的方法,也使传统的理论与方法,经过改进、改造后,重新焕发出新的生机。

近年来,以人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)为核心,融合知识工程(Knowledge Engineering, KE)、模糊集(Fuzzy Sets, FS)、混沌(Chaos)和进化计算(Evolving Computation, EC)的人工智能(Artificial Intelligence, AI)研究,自1956年诞生以来,在模拟人的思维和推理机制方面,取得了令人瞩目的成果,这些研究成果为解决知识劳动度量的部分问题提供了强有力的工具;另一方面,人们在认知科学的研究中,对大脑的结构及信息处理机制的认识,也取得了一定的进展,认识到大脑的基本结构和处理信息的一些基本机理,这为建立知识劳动度量理论和方法,提供了可靠的理论基础。

3.5 知识劳动度量的基本思想

3.5.1 面向过程基于知识数量的知识劳动度量

3.5.1.1 度量原理的应用

从劳动度量的三种原理分析,由于知识劳动效果的抽象性和不确定性,计件制原理不适合于知识劳动度量,而采用计分制原理又存在着不可避免的人为因素的影响,因此,应用计时制原理,以工作测定技术来确定劳动时间,就成为知识劳动度量的必然选择,而且,现代劳动工具研制的思想和智能化的趋势,使劳动者在单位时间内完成的劳动量趋近相等,因而,也为应用计时制原理,提供了可靠的前提条件。

然而,如果单纯对每一过程进行度量,就要花费大量的人力、物力和财力,而且单纯度量每一过程的劳动时间,忽略了知识劳动者劳

动过程的基本特性和同类知识劳动过程的相似性,不能反映同类知识劳动过程在劳动量方面存在的内在规律。因而,在知识劳动度量中,必须对采用单一的工作测定度量方法进行改进。

3.5.1.2 面向过程基于知识数量的知识劳动度量

根据对知识劳动者劳动过程的分析,可以看出,在整体上,知识劳动者的劳动过程是多样的、复杂的,既包含以大脑思维过程为主的脑力劳动,又包含以体力消耗过程为主的体力劳动。但是,通过对知识劳动过程的研究,在选择和确定了主要劳动过程之后,就减少了知识劳动过程的多样性。

知识劳动的主要过程是知识的收集、处理和加工,而且这一过程遵循着一定的劳动程序,即由相应的工作步和操作组成,知识劳动过程的完成是通过逐步完成这些工作步和操作来实现的。

从知识劳动过程的基本组成出发,对知识劳动过程进行展开,并将劳动过程分解至相应的工作步和操作,就可以简化知识劳动过程,降低知识劳动过程的复杂性,为研究知识劳动度量方法、模型创造必要条件。在此基础上,研究各工作步和操作的性质,基于劳动过程的知识处理特性,寻找各个工作步和操作中存在的知识数量,然后,将这些知识数量转化为影响劳动量大小的因素,并筛选出关键因素。以这些关键因素作为劳动度量模型的自变量,构建一个因素集,再对同类知识劳动过程若干样本进行测时,获取由关键因素值和对应的知识劳动过程时间值组成的样本对,进而采用人工神经网络建模技术和BP算法,就可以建立劳动时间与关键因素之间的函数关系。

在度量模型建立的过程中,由于仅对同类知识劳动过程的若干样本进行测时,避免了面向每一过程逐一测时所带来的成本高、时间长等缺陷,而且由于采用了人工神经网络建模技术,因此,可以确定同类知识劳动过程中各具体过程之间的劳动量差异,其精度也有很大提高。

3.5.2 面向对象基于知识处理的知识劳动度量

3.5.2.1 知识劳动的知识处理过程

基于对知识劳动过程的分析,可以看出,在知识劳动过程中,人

们所运用和操作的对象主要是各种知识(包括各种有关的数据),这说明知识劳动过程实质上是一个由人脑完成的知识处理的过程,是一个知识处理系统。

然而,在现代科学技术条件下,人们对由 140 亿个神经细胞所组成的脑神经系统的超并行性,以及由系统的层次和分布式构造所形成的本质特性知之甚少。至今还没有可以用于分析和设计 NAPAN 的理论。目前的研究是从系统论的角度来探索复杂的 NAPAN,试图在网络层次上,弄清其功能和信息处理的原理,建立其体系化理论,因此,从脑生理结构角度,研究大脑的知识处理过程与方法,建立基于大脑知识处理过程的劳动度量理论与方法,尚不具备生物理论基础。

模糊集理论在研究系统建模时,它的主要特点是,对于用精确方法不能解决的问题,只要人们对它有一定的知识,就可以通过语言表示知识,建立知识的语言表示模型,并把语言表示模型中的词汇作为模糊集合来对待,通过隶属函数进行数值表现,采用模糊集合论进行信息处理。

应用模糊集进行建模的基本方法是,通过语言,说明系统的构造和行为,并以此作为系统的约束条件,再根据问题所对应的隶属函数进行数值处理,以求出问题的解。这说明模糊集理论是在现象这一层次上把握系统的行为,使得人们即便对系统的原理不清楚或根本不知道系统的构造,但只要对系统的宏观行为有基本的经验和认识,通过语言表现系统的大致行为和倾向,也能够对系统进行建模。国内外已有许多专家和学者将模糊集理论应用于以人为主要的过程研究,并取得了重要成果。

Kokawa 等人采用模糊集理论,定量研究了人的记忆、遗忘和推理过程对主观决策活动的影响,给出了定量关系模型;Zadeh 提出把人的行为(包括个别的或集体的)作为一个模糊系统而模型化;Dim-
itrov 为人们对一些模糊命令的领会建立了模型;Clark 指出:“智能活动经常要遇到在不确定性条件下进行劳动的问题,如决策劳动、设计劳动等”,并提出了一种基于模糊集合论的定量研究和分析方法。

3.5.2.2 知识—模糊神经网络的应用

根据上述分析,首先,依据模糊集理论从宏观上把握系统行为的思想,基于知识劳动过程的知识处理特性,将知识劳动者的劳动过程视为一个知识处理系统,系统的输入和输出是具有不确定性和不完整性特点的知识,根据人工神经网络与脑神经系统在结构、功能及知识处理方式上的相似性,将模糊逻辑与人工神经网络结合,以人工神经网络模拟知识劳动过程,并构造一个知识处理系统,对知识劳动过程进行模拟。

其次,针对知识的模糊性,根据同类知识劳动的劳动对象所表达的知识在“质”上的类同性,应用知识工程原理中的知识表示方法,描述知识劳动对象的知识特性,研究知识劳动对象的知识表示结构模型,以模糊综合评判方法,确定知识表示结构模型中模糊变量值,并在标准度量条件下,对知识劳动同类劳动对象的若干劳动过程样本进行测时,采集知识劳动对象的知识表示值与知识劳动过程的劳动时间值,作为样本数据对。

最后,应用基于梯度搜索技术的模糊逻辑学习算法,对人工神经网络进行训练,就可以建立基于知识处理的知识劳动度量模型。

3.5.3 知识劳动度量的条件

3.5.3.1 劳动度量条件的内容

在劳动度量过程中,除了劳动对象和劳动过程本身的因素影响劳动量以外,还有一些不确定性因素也影响劳动量大小,这些因素主要包括两大类:一是人员因素,诸如人员的能力、水平和经验;二是工作地和工作环境因素,前者指工作地空间布置条件,如工作台、工作椅摆放,必要工具的配备等,后者指工作环境因素,如照明、噪声和色彩等。为简化和便于劳动度量,通常的做法是将这些因素选定并作为标准度量条件,只考虑工作本身因素或工作过程因素的作用,建立劳动量与它们之间的关系。对不同度量条件的影响,则通过确立度量条件系数,对标准劳动量进行系数修正的方法确定。

3.5.3.2 知识劳动度量条件的建立

知识劳动度量条件因岗位而异,且要与实际岗位任职资格有较好的一致性。通过抽样调查和参考相关文献,可以设定的知识劳动度量条件如下:

(1)人员条件

采用学历,表示人员的文化知识水平,包括理论基础和专业技术知识;采用人员职称,表示人员的知识工作能力,包括工作技能和工作诀窍;以工龄表示人员的工作经验;其他如人员的身体健康状况等。

(2)工作地和工作环境条件

工作台、工作椅摆放合理,备有必要的仪器、工具、手册及相关资料;工作环境中照明、色彩、噪声等符合知识劳动的要求。

(3)工作质量条件

要满足规定的技术要求,如产品设计或工装设计要满足经济耐用、技术先进、安全可靠的要求,工艺规程的编制要经济合理,同时还要适合本企业生产条件,符合标准化、系列化要求等。

4 知识劳动度量方法

4.1 面向过程基于知识数量的知识劳动度量方法

4.1.1 知识劳动过程的分解与简化

4.1.1.1 树形图原理

树形图是一类极其简单然而却是十分有用的图,由若干节点和连接边组成,可以记为:

$$G=(V,E)$$

式中: V 表示节点的集合; E 表示连接边的集合。

在树形图中,节点用于表示所分析的对象,连接边用于表示所分析对象之间的联系。通常,树形图在它的最上一层,也即第一层只有一个节点,称之为树形图的树根。第二层的节点将在第一层节点的基础上产生,一般多于一个节点,并用连接边与第一层的节点相连,然后第二层的各个节点又作为第三层节点的树根,产生第三层相应的节点,并用连接边与相应的第二层的节点连接,按照这个规则,重复下去,就构成了一个类似于树枝状的图,称为树形图。如图 4.1 所示。

树形图原理的本质在于揭示各种不同复杂系统或复杂过程之

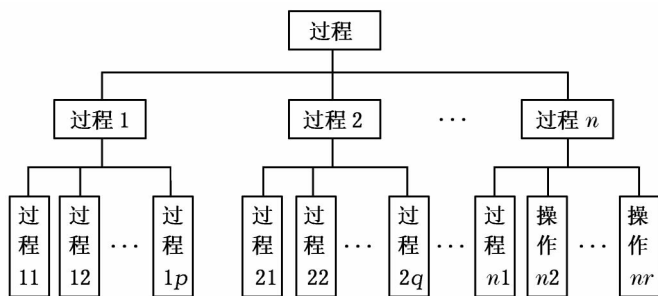


图 4.1 树形图的结构

间的内在联系,把本来认为是极其复杂的系统或过程,通过内在的关联分析、层次结构分析,借助于树形图结构,使复杂的系统或过程程序化、层次化和系统化,以便能对复杂的系统或过程做更全面的分析和研究,使各种具体的工程技术更充分、更有效地发挥作用。

4.1.1.2 树形图原理在知识劳动过程分解中的应用

知识劳动过程是有序的,这是知识劳动过程具有的一个显著特点。基于这个特点,通过对知识劳动过程及其三要素的分析,可以看出,任意知识劳动过程都有其自身特定的劳动程序和劳动步骤,每个知识劳动过程都由相应的知识工作步组成,而每一个知识工作步又包含多个相应的知识操作。

操作不是劳动过程中最小的可分单元,一般认为动作或动素是作业分析中的最小单元,但操作是一项具有完整意义的、独立的工作内容。在体力劳动度量中,因为劳动过程是以体力消耗为主的,那么,构成体力劳动过程的大多数操作,也是以体力消耗为主的,可以称之为体力操作,操作是由动作组成的,动作又是体力消耗的主要方式,因此,对体力操作的分析,就可以借助于对动作的分析来实现,进而通过研究体力劳动的多动作组成和各动作的时间消耗,来度量体力劳动量。在知识劳动度量中,知识劳动过程是知识劳动者应用知识、处理知识的过程,那么,构成知识劳动过程的大多数操作,也是以

知识应用和处理为主的,称之为知识操作。对知识操作的分析,就不能借助于分解至体力消耗的主要方式——动作来进行,而是要考虑知识操作完成的基本元素——知识点,进而通过对知识操作知识点的分析,确定影响知识操作完成的时间消耗,即以知识点为基本切入点,对知识操作进行度量。

基于这些分析,将树形图原理应用于知识劳动过程时,对劳动过程可以分解、展开为三层:

第一层为知识劳动过程;

第二层为知识劳动过程所包含的知识工作步;

第三层为各知识工作步所隶属的知识操作,如图 4.2 所示。

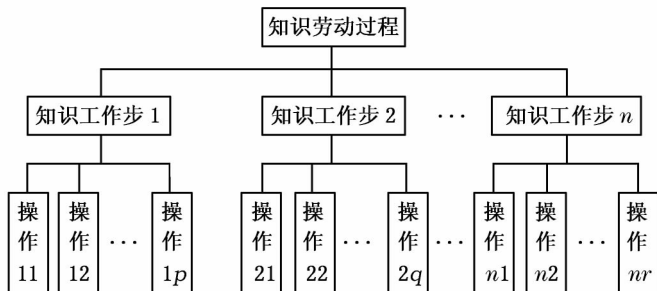


图 4.2 知识劳动过程的分解

4.1.2 面向过程基于知识数量的劳动度量

4.1.2.1 关键因素的筛选

知识劳动过程的分解与简化,为研究其劳动度量问题带来了方便。在度量时,首先基于建立的知识劳动过程分解与简化树形图,从树形图的操作层入手,研究知识操作的性质、特点及其实现过程所需的知识点数量。对知识点数量以操作实现过程所涉及的影响因素来衡量。一般来说,知识操作过程所涉及的因素越多,所包含的知识点也越多,知识操作因素集与知识操作知识点之间存在着对应关系。

设操作为 O , 它的影响因素集为 $X_o = (x_{o1}, x_{o2}, \dots, x_{om})$, 其中 x_{oi} 表示操作 O 的第 i 个影响因素, 知识点数量为 q_{oi} , 则有:

$$X_o \rightarrow q_o$$

一般来说, 每一知识操作都会包含若干个知识点, 这样, 通过对知识操作的分析所得到的因素较多, 不利于建立劳动量与影响因素之间的对应关系。解决这个问题的方法是进一步对知识操作进行分析, 从知识点中选取关键知识点, 即对应的关键因素。以关键因素作为劳动度量模型的自变量, 既突出了关键知识点的作用, 也便于建立劳动度量模型。

设操作为 O , 它的影响因素集为 $X_o = (x_{o1}, x_{o2}, \dots, x_{om})$, 关键影响因素集为 $X'_o = (x_{o1}, x_{o2}, \dots, x_{op})$, 知识点数量为 q_{oi} , 关键知识点数量为 q'_{oi} , 其中 x_{oi} 表示操作 O 的第 i 个影响因素, 则有:

$$X_o \rightarrow q_o$$

$$X'_o \rightarrow q'_o$$

且

$$X'_o \subseteq X_o, q'_o \leq q_o$$

4.1.2.2 影响因素与劳动度量数据样本的确定

对每一类知识劳动, 首先以该类劳动过程为对象, 选取该过程的若干样本, 在预先确定的工作地条件和工作环境条件下, 描述样本中影响因素的大小, 然后采用工作抽样测定技术(WSS), 测定劳动过程的劳动时间, 获取影响因素和对应的劳动时间数据样本。

4.1.2.3 知识劳动度量模型的建立

将已得到的关键因素及相应的劳动时间数据样本, 分别作为神经网络的输入集和期望输出集, 采用 BP 算法, 训练神经网络。根据神经网络的映射性质, 只要有足够多的样本和进行足够多的训练, 就可以建立关键因素与知识劳动量之间的映射关系, 即劳动度量模型。

图 4.3 表示了面向过程基于知识数量的劳动度量的基本思路。

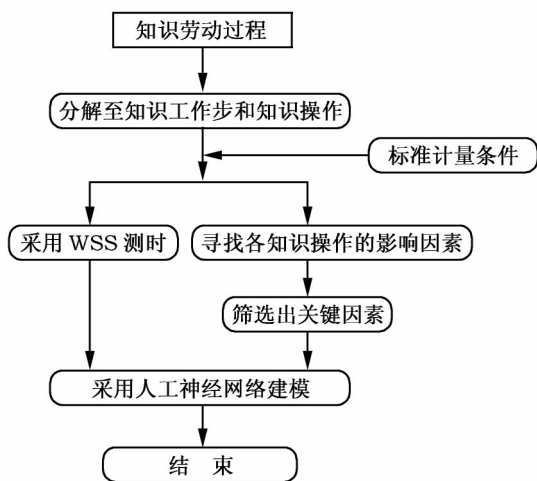


图 4.3 面向过程基于知识数量的劳动度量方法

4.2 面向对象基于知识处理的知识劳动度量方法

4.2.1 知识劳动过程的知识处理特性

4.2.1.1 知识劳动的知识处理系统

知识劳动是一个基于知识的求解过程,是一个知识处理系统。在这个系统中,系统的输入和输出都是具有不确定性、不完整性和模糊性特点的知识。

知识劳动中对知识的处理,是一个逐步推进,不断深入、不断反馈和完善的过程,即在劳动过程中,根据知识劳动的最终成果的要求,一步一步地对知识劳动对象进行处理。其中,每一步处理的结果都会被反馈和评价,在反馈和评价的基础上,启发、提示下一步的处理策略和方向,如此循环往复,直到满足规定的劳动成果的要求。

知识劳动的边界通常由知识劳动者条件、设备条件、工作地和工作环境条件等组成。

4.2.1.2 知识劳动对象的特性

知识劳动所面向的对象,是以自然语言的方式描述的文字、图像和模型,具有以下特性:

(1)同类知识劳动对象“质”上的类同性

对一类知识劳动而言,同一类知识劳动对象的语言描述在“质”上是相同的,即在知识劳动对象的描述范围、描述结构、描述特征内容和描述层次等方面,都具有类同性,如设计人员描述同一类产品的设计技术要求,就具有这个特性。

(2)同“质”知识劳动对象“量”上的差异

同“质”知识劳动对象之间,在数量上是有差别的,这种差别主要体现在描述知识劳动对象的具体要求时所使用的语言修辞有着程度上的不同,如在描述时,经常会使用一些修辞副词,若以语言算子来反映修辞程度上的不同,就表现为劳动对象数量上的差异。

4.2.1.3 知识劳动的知识处理机制

知识劳动的多样性,使得知识劳动过程的知识处理机制也具有多样性,如,科学研究劳动和工程开发劳动、设计人员劳动和工艺人员劳动等,就是具有不同知识处理机制的知识劳动形式,也正因为知识劳动知识处理机制的多样性,才使人们能够根据这些机制,提出具有不同学习规则和学习算法的人工神经网络结构和模型。

各种不同的神经网络及其相应的学习算法,正是对不同知识处理机制的模拟。但对同一类知识劳动者或同一种知识劳动过程而言,其知识处理机制是相同的。

4.2.2 面向对象基于知识处理的劳动度量

4.2.2.1 基本思路

通过对知识劳动过程知识处理特性的分析,首先,基于知识劳动对象的知识特性,采用知识表示方法,研究劳动对象的知识表示,以知识表示结构模型,体现同一类知识劳动对象“质”上的类同性,即对一类知识劳动对象,采用一种知识表示结构模型。对同“质”知识劳动对象“量”上的差异,采用知识表示结构模型中的变量,取不同的值

来反映,以模糊综合评判的方法给出变量值。

其次,基于知识劳动过程知识处理机制的多样性,以多种神经网络结构和相应的学习算法对其进行模拟,建立知识劳动过程的知识处理模型,如图 4.4 所示。

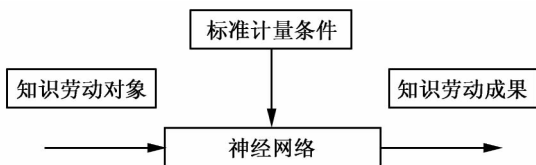


图 4.4 知识劳动过程的知识处理模型

最后,基于所建立的知识劳动过程的知识处理模型,将劳动过程的输入即知识劳动对象,通过新建立的知识表示结构模型和模糊综合评判,转换为用矢量形式表示的数据,劳动过程的输出转换为劳动成果形成所需要的劳动时间,然后在一定的度量条件下,获取输入和输出的样本集,并训练相应的神经网络,就可以对知识劳动过程进行智能模拟,并建立面向对象基于知识处理的劳动度量模型。

图 4.5 表示了面向对象基于知识处理的劳动度量的基本思路。

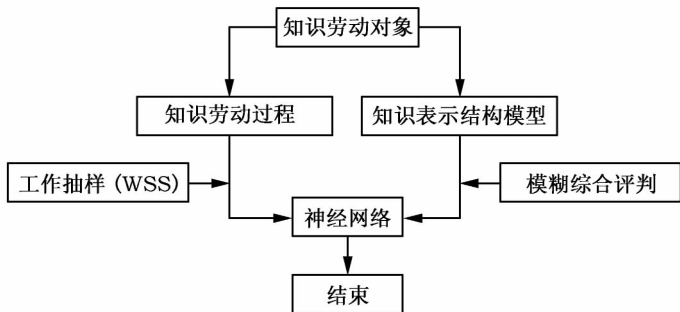


图 4.5 面向对象基于知识处理的劳动度量方法

5 知识劳动度量理论与方法的应用

——工程设计劳动度量模型

5.1 工程设计劳动特性

企业的知识劳动者主要有工程技术人员、管理人员等,工程技术人员主要包括设计人员和工艺人员。

设计人员和工艺人员的劳动过程及构成劳动过程的工作步、构成工作步的操作和操作过程所涉及的知识点、关键知识点,有着很大的不同,由于这两类人员劳动度量的影响因素不同,相应地就具有不同的劳动度量模型。因此,本章将以设计人员的劳动过程为例,做出工程设计的劳动度量分析。

5.2 面向过程基于知识数量的工程设计劳动度量模型

5.2.1 工程设计过程的分解与展开

5.2.1.1 工程设计过程概述

工程设计是一个过程,是设计人员综合运用自然科学、社会科学

的知识及实践经验,将可确定的设计任务转化为技术系统的具体表述,并构造一个有效、可行、适用的系统,以满足人类需求的一种有目的的活动。工程设计具有多重性质。

(1)设计目标的明确性

工程设计的目的是满足社会需求,而社会需求是具体的,因此工程设计的首要任务是要弄清问题,明确设计目标。

(2)设计方案的多样性

在工程设计中,为了实现一个规定的设计目标,通常可以有多种不同的设计方法,也能够形成多个相异的设计方案,这是工程设计区别于科学研究的一个显著特点。工程设计应尽可能多地采用各种方法,发现多个不同的解决方案,并从中选择一个满意的方案。

(3)设计过程的多因性

工程设计面向实际,注重应用,因而,不可避免地要受到多种因素的制约,这些因素既包括企业人员、技术和设备条件,也包括来自市场和社会方面的需求状况条件。

(4)设计过程的动态性

工程设计充分体现了动态、发展的观念,设计只有适应不断变化的市场,持续不断地进行创新,才有生命力。

(5)设计过程的综合性

工程设计具有高度的综合性,这是工程问题的一个基本特点。工程设计既要考虑技术上的合理性和可能性,又要考虑社会效益和经济效益。一般来说,设计问题的解决是在综合分析的基础上,采用折中或妥协的办法来实现。

5.2.1.2 工程设计过程的系统模型

20世纪60年代,国外开始设计理论与方法的研究。1980年,国际设计科学的创始人 Hubka 首先提出了抽象化的设计系统方法论。Hubka 认为,设计是人的需求及其实现过程,该过程可以看成是在一定的时间和空间约束条件下,由输入、黑箱、输出和边界等基本环节构成的系统。如图 5.1 所示。

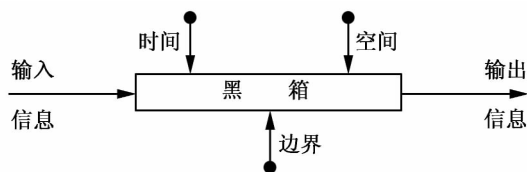


图 5.1 设计过程的系统模型

5.2.1.3 工程设计过程的一般模型

保尔(Pahl)和贝兹(Beitz)则提出了设计过程的模式化原理,强调功能的分解与组合及按功能编制设计目录进行设计的思想;约翰逊(Johnson)提出不要将设计程式定得过死,认为设计是一种创造性活动,设计方法应该强调创新,讲求效率和效益;赤木新介等人以系统理论为基础,提出了一种工程设计系统模型和“最适化”的设计观点。

虽然这些学者的研究各有侧重,但都主张应当制定必要的设计进程模式,重视设计中的系统观点和系统理论研究,将设计过程看成是信息输入和输出的转换,是通过收集、存贮、转换、传递、处理、再生和合成等环节,将功能要素转化为具体模型的过程。

Hubka 研究了设计系统的组成,认为系统包含若干个子系统,每一个子系统都对应于一个技术过程(Technical Process, TP),进而,Hubka 指出设计过程(Design Process, DP)是管理过程、工作过程和辅助过程的有机结合,其中工作过程是主过程,它输入信息与需要,输出系统的技术文件。并且,Hubka 在分析设计过程系统模型的基础上,又对系统黑箱的内部结构进行研究,提出了设计过程的一般模型,如图 5.2 所示。

根据设计过程的系统模型和一般模型,设计过程的特点主要体现在两个方面。

(1) 设计过程是分阶段、分步骤逐步逼近设计目标的过程

在设计过程中,设计任务首先要转换为设计技术要求,设计技术要求再转换为功能结构,然后功能结构要转换为具体模型。每一步

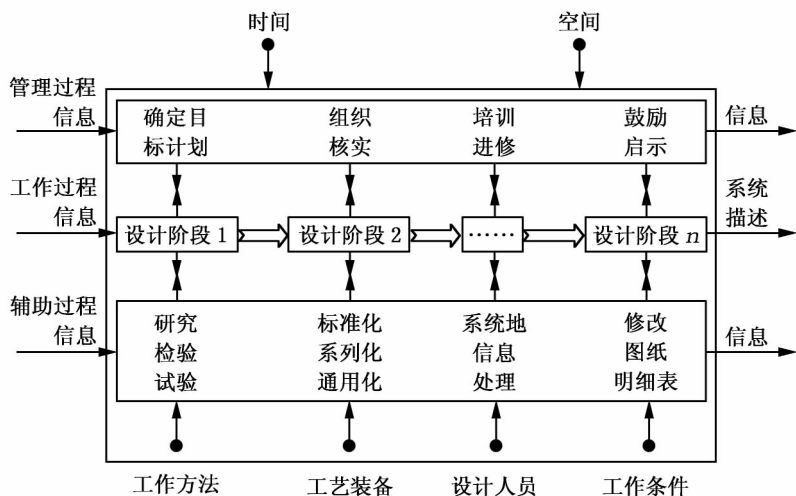


图 5.2 设计过程的一般模型

转换都涉及许多自由度,也存在着不断变化的约束条件和多个不同的备选方案。因此,就决定了设计过程不可能一蹴而就,而只能综合运用多方面的知识,全面系统地考虑多种因素的影响,分阶段、分步骤地逐步逼近设计目标,并最终确定一个相对满意的方案。

(2) 设计过程主要是设计人员从事智力活动的过程

尽管设计过程包括了三个子过程,但工作过程是设计过程的主过程,它输入设计技术要求信息,输出系统的描述性信息,包括图纸、文字和数学模型等,是一个信息的转换过程,是设计人员应用知识,完成智力活动的过程,这种智力活动既包括逻辑思维,也包括抽象思维。

5.2.1.4 工程设计过程的程序模型

工程设计过程是一个复杂的劳动过程,具有多变性、灵活性和一定程度上的随机性,而且,在不同的技术条件和生产组织条件下,设计人员可能会采用不同的设计思路、设计程序和设计步骤。但如果从工作过程的技术关系和逻辑关系出发,考虑工作过程各阶段之间的内在本质联系,也可以发现工作过程的一般规律,从而可以建立一

个反映工作过程一般规律的程序模型。这个程序模型一般由 6 个工作步(骤)组成。如图 5.3 所示。

(1)明确设计要求

这个工作步的作用是将规定的设计任务转化为设计技术要求。它的输入是需方或客户提出的设计任务,输出是一份完整的、定量的,且进行了分类归纳的设计技术要求说明。

(2)建立功能结构

这个工作步的输入是设计技术要求,输出是功能结构图。在建立功能结构图的过程中,首先要采用抽象的术语,对设计技术要求进行概括,重新定义技术要求,并选择关键的技术要求作为设计的重点;其次,要确定与技术要求相对应的技术原理集,并建立技术原理的可实现技术过程。在技术过程中,应着重分析关键技术要求及与其他技术要求之间的关系,并且要对关键技术要求所确立的可实现技术过程进行比较、分析和评价;最后,建立功能结构图,说明各功能之间的相互关系,选出最满意的功能结构。

(3)建立原理图

这个工作步的输入是功能结构和设计技术要求,输出的是一份不完整的原理图,该工作步是工程设计过程中最关键的一个环节,也是工程设计的难点和重点,需要设计人员充分利用自己的能力和经验,发挥自己的想像力和创造力,进行创造性的思维和分析。

(4)建立结构草图

这个工作步的输入是原理图、功能结构、设计技术要求,输出是草图。在这个工作步中,要确定结构元件和主要功能组件的结构、形状、尺寸,并根据原始尺寸,寻找出存在的若干可供选择的布局方案,进一步从这些方案中,经过比较筛选出一种较合理的方案,然后要确定所需的材料、制造方法、公差和表面质量,建立初步的结构草图。

(5)建立尺寸草图

这个工作步的输入是初步的草图和有关的资料,输出是接近完善的工作结构图和按真实比例绘出的尺寸图。在这个工作步中,产品结构布局、元件结构、零件形状、尺寸和材料等都被确定下来。

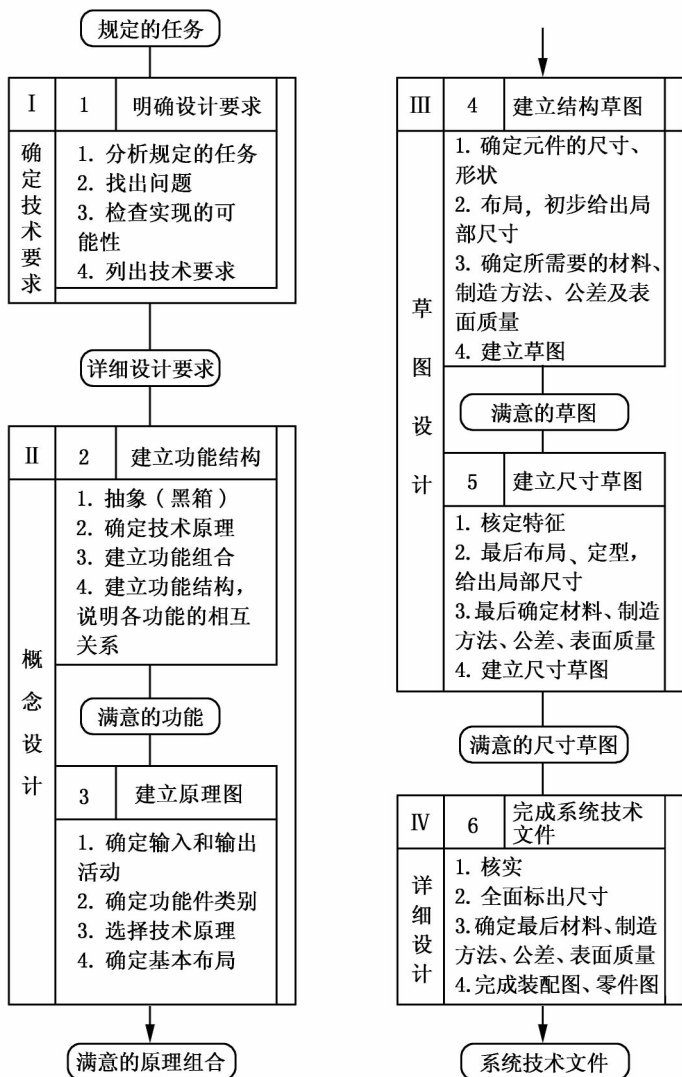


图 5.3 工作过程的程序模型

(6)完成系统技术文件

这是工程设计过程的最后一个工作步,在这个工作步中,尺寸草图将转化为必需的数据和详细的结构与元件图,以用于工程制造和产品加工,包括图形上数据的核实,全面标注图纸上的尺寸,最终确定材料、制造方法、形位公差和表面质量及零部件的尺寸、公差、表面质量、材料要求等,并完成装配图、零件图、零件一览表等其他文件。

5.2.2 工程设计过程的工作转换模型

5.2.2.1 工程设计过程研究

通过上述对工程设计过程的分析,可以看出,目前国内外对工程设计过程的研究已取得十分丰硕的研究成果,这些研究成果大致可以概括为三种模型:一是由 Pahl 和 Beitz 提出的包括明确任务、概念设计、技术设计和施工设计等内容的四阶段模型;二是由科勒(Koller)提出的由产品规划、功能设计、定性设计和定量设计构成的四层次模型;三是邹慧君等人提出的由产品规划、方案设计、详细设计和改进设计等组成的四步骤模型。

5.2.2.2 工程设计过程的工作转换模型

从广义上讲,工程设计是一个由规划设计、设想设计、草图设计、详细设计和文档设计等组成的综合过程。其中,规划设计是综合过程的始点,它通过市场预测、技术经济分析、可行性研究等,给出具体的设计任务,并将设计任务转换成设计技术要求;文档设计是综合过程的终点,主要包括机械制图、核实检查、文件编制等。但从设计过程及工程设计的本质和内涵看,工程设计的主要步骤是设想设计、草图设计和详细设计。

鉴于上述分析,借鉴 Hubka 和 Pahl、Beitz 及 Koller 的建模思想与模型结构,本书给出工程设计过程的工作转换模型,如图 5.4 所示,并将该模型作为研究工程设计劳动度量的出发点。

按照工作转换模型,工程设计过程由设想设计、草图设计和详细设计三个工作步构成。各工作步的特性分述如下:

(1)设想设计工作步

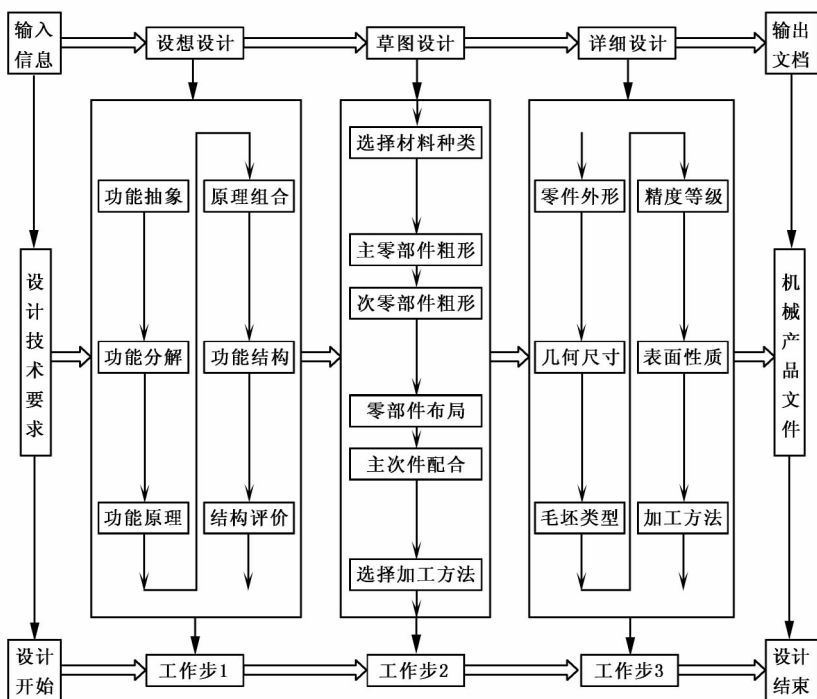


图 5.4 工程设计过程的工作转换模型

设想设计工作步通过功能抽象、功能分解、功能原理求解与功能原理组合及结构评价等操作,进行设计技术要求信息的处理与加工,生成框架式的广泛意义上的解。在这个框架解中,每个主要功能都对应于其上,并借助于原理部件间的空间或结构关系,将各功能有机地结合起来,借此把设计信息逐步加工成功能模型。该工作步主要采用抽象推理的方式来完成,具有创造性强、高度智能化的特点,要求设计人员动用自己的全部才智,在多种约束条件并存的情况下,找到最合理的方案。

(2) 草图设计和详细设计

这两个工作步的操作具有相似性,在设计对象、设计内容及设计方法上有许多是一致的,是通过零部件形状、几何尺寸、空间位置设

计,毛坯材料、加工方法选择和精度、粗糙度确定等操作,将功能模型逐步加工成具体形状和结构信息的过程。在完成各操作时,要遵守许多设计准则、设计原理和设计规定,创造性成分少,必然性成分多,逻辑推理多于抽象推理。

(3)功能性和非功能性结构设计过程

设想设计以完成结构评价为终点,可以与草图设计、详细设计区分开来。草图设计与详细设计,由于其相似性,两者之间无明显的分隔点。

基于上述分析,本书将工程设计分为功能性和非功能性结构设计两个过程,前者为设想设计,后者包括草图设计和详细设计,并分别建立两过程的劳动度量测算方法与模型。

5.2.3 工程设计劳动度量

5.2.3.1 度量模型建立的前提

在面向工程设计的劳动度量中,通过应用设计系统模型和一般模型,选择主要设计过程,减少了设计过程的多样性,并通过建立工程设计过程的工作转换模型,将工程设计分为功能性和非功能性结构设计两部分,进一步应用树形图原理和递阶层次结构,将功能性和非功能性结构设计过程分解为工作步和操作等,又降低了功能性和非功能性结构设计过程的复杂性,从而为建立功能性和非功能性结构设计过程的劳动度量模型奠定了坚实的基础。

不同类型的产品设计,它的功能性和非功能性结构设计有不同的要求,表现在工作步和操作中,其在设计目标、设计内容、设计方法和信息处理方式上是不同的。只有同类设计过程,其功能性和非功能性结构设计过程才具有相似性,以及由此导致的设计工作步、设计操作及其影响因素“质”上的类同性,在此前提下,才可能对功能性和非功能性结构设计过程的工作步、操作及其影响因素进行量上的比较,建立反映功能性和非功能性结构设计过程的劳动度量模型。因此,工程设计的劳动度量模型研究,必须是在同类设计过程的前提下,对功能性和非功能性结构设计过程来完成。

5.2.3.2 功能性结构设计实现的技术过程

根据工作转换模型,假设设计技术要求经过功能抽象后得出的功能集 $F = \{F_n\} (n=1, 2, \dots, N)$, 任一功能 F_n 有 M_n 个基本功能单元, 即 $F_n = \{f_g\} (g=1, 2, \dots, M_n)$, F_n 一般为有序集, 再假设基本功能单元 f_1 的技术原理集 $H_1 = \{h_{1p}\} (p=1, 2, \dots, N_1)$, f_2 的技术原理集 $H_2 = \{h_{2q}\} (q=1, 2, \dots, N_2, \dots)$, f_{Mn} 的技术原理集 $H_{Mn} = \{h_{Mnr}\} (r=1, 2, \dots, N_{Mn})$, H_g 通常为无序集, 则功能性结构设计过程可分解为下列树形图, 如图 5.5 所示。

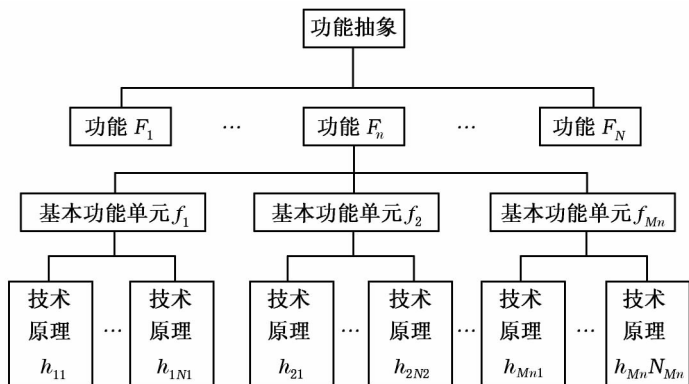


图 5.5 功能性结构设计实现的技术过程

从实现有序功能 F_n 的角度看, 只要它的各基本功能单元的任一技术原理按功能顺序相连, 都构成一条功能技术原理链, 形如:

$$\rightarrow h_{1p} \rightarrow h_{2q} \rightarrow \dots h_{Mnr}$$

$$p=1, 2, \dots, N_1, q=1, 2, \dots, N_2, \dots, r=1, 2, \dots, N_{Mn}$$

都表示一条技术原理链。按照此方法, 共有技术原理链 $L_n = N_1 N_2 \dots N_{Mn}$ 条。但对功能 F_n 实现有两个待解决的问题:

① 并非所有技术原理都存在着技术上的顺序可联性, 必须选择技术上可联的原理, 才能构成可行的技术原理链;

② 即使是可行的技术原理链, 也并非是最合理的, 还要根据设计目标要求进行筛选、优化。

5.2.4 功能性结构设计过程的操作特性及关键因素

5.2.4.1 功能性结构设计过程的操作特性

功能性结构设计过程的操作由功能抽象、功能分解、可行技术原理的组合、技术原理链的优化等 4 个操作组成。

(1) 功能抽象

功能抽象面对的是设计技术要求,是对设计任务本质问题的分析与抽取,通常以设计技术要求表为基础,对设计任务进行多次反复陈述,一次一次地概括。抽象过程的时间,取决于设计对象类型、设计要求的清晰化程度、抽象次数、功能个数等。对同类设计劳动而言,功能数 N 是主要影响因素。

(2) 功能分解

功能分解是将各功能分解到基本功能单元的过程,任一功能分解的时间受到分解次数、分解难易程度及最终得出的基本功能单元数等因素的影响,其中基本功能单元数 M_n 是主要因素。

(3) 可行技术原理的组合

该操作是功能性结构设计的难点与重点,决定设计方案的新颖性、先进性、可行性,所涉及的因素也较多。从层次上看,有主、次功能的分配与确定及其两者之间的配合;从组合形式上分析,有串联、并联和混联;在组合内容上,有能量组合、材料组合、信息组合等。一般是通过遍寻法,找出所有技术原理链,并逐一分析和研究,如 $M_n = 10, N_1 = N_2 = \dots = N_{M_n} = 10$, 实现 F_n 就需要对 10^{10} 条技术原理链进行研究,信息量十分巨大,正因为有如此大的信息量,即使是同类产品设计也可构造出多种不同型号的产品。操作过程主要受到技术原理链个数、组合关系与组合内容等因素的影响,如组合复杂程度、组合关系连接等。对同类产品设计而言,其组合关系和组合内容是相似或基本相似的,主要取决于技术原理链个数 L_n 。

(4) 技术原理链的优化

技术原理链的优化是对技术可行链的综合评价与筛选过程。评价与筛选过程的时间与可行技术原理链数、评价目标数、评价方法的

难易程度等因素有关,但对于同类型产品的技术原理链评价,也主要取决于技术原理链个数 L_n 。

5.2.4.2 功能性结构设计过程的关键因素

通过对功能性结构设计过程操作的分析,可以看出,任一功能 F_n 的时间影响因素,主要有基本功能单元数 M_n 、技术原理链数 L_n 。如果以 M 、 L 分别表示各功能所隶属的平均基本功能单元数、各基本功能单元所包含的平均技术原理链数,则功能性结构设计过程的劳动量关键影响因素主要有功能数 N 、平均基本功能单元数 M 、平均技术原理链数 L ,且:

$$M = (M_1 + M_2 + \cdots + M_N) / N$$

$$L_n = (N_1 N_2 \cdots N M_n)$$

$$L = (L_1 + L_2 + \cdots + L_N) / N$$

为有效地描述 N 、 M 、 L 影响因素和相应的劳动时间 T ,本书采用区间值法来表示影响因素和劳动时间的样本对值。

对标准测算条件下的第 s 个样本,功能数 N_s 、基本功能单元数 M_s 、技术原理链数 L_s ,可表示为 $N_s = [X_{1s}, X_{2s}]$ 、 $M_s = [X_{3s}, X_{4s}]$ 、 $L_s = [X_{5s}, X_{6s}]$,与 N_s 、 M_s 、 L_s 所对应的功能性结构设计过程的样本时间值 T_s 可表示为 $T_s = [t_{1s}, t_{2s}]$ (功能性与非功能性结构设计过程有分隔点, T_s 具有可测性),其中区间的上、下限,分别表示对应因素和劳动时间的极值。将 N_s 、 M_s 、 L_s 作为 Y 集合,即 $Y = \{N_s, M_s, L_s\}$, T_s 作为 Z 集合,即 $Z = \{T_s\} (s = 1, 2, \cdots, A)$,则集合 Y 与集合 Z 有下列映射关系:

$$\psi: Y \rightarrow Z$$

$$\psi: \{N_s, M_s, L_s\} \rightarrow \{T_s\}$$

5.2.5 功能性结构设计过程的劳动度量模型

5.2.5.1 神经网络的结构

根据功能性结构设计的 $\psi: Y \rightarrow Z$ 映射关系和 Kolmogorov 提出的定理,构造一个三层前向神经网络,如图 5.6 所示, ψ 用神经网络来表示,即以输入集 $Y = \{X_{1s}, X_{2s}, X_{3s}, X_{4s}, X_{5s}, X_{6s}\}$ 和输出集 $Z =$

$\{t_{1s}, t_{2s}\}$, 应用 BP 学习算法, 训练相应的网络, 并调整网络参数, 则可以得到隐含的以神经网络表示的劳动度量模型 4。

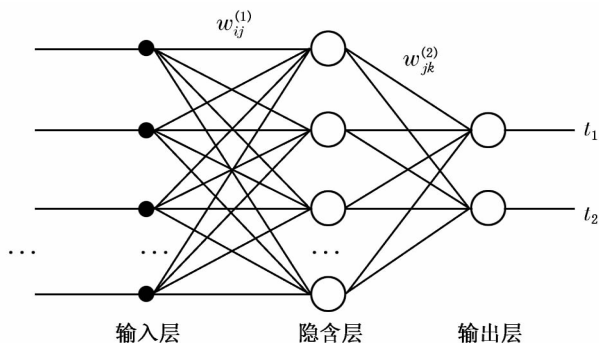


图 5.6 功能性结构设计过程的劳动量测算模型

其中, 网络的输入层由 6 个节点组成, 输出层由 2 个节点组成, 根据 Kolmogorov 定理的推论, 可以得出, 隐含层由 13 个节点组成。

5.2.5.2 神经网络的学习算法

假设输入层第(i)个节点至隐含层第(j)个节点、隐含层第(j)个节点至输出层第(k)个节点的权重系数分别为 $w_{ij}^{(1)}$ 、 $w_{jk}^{(2)}$, $i=1, \dots, 6$, $j=1, 2, \dots, 13$, $k=1, 2$, 节点激活函数 ϕ 取 sigmoid 函数, 对第 s 个样本, 隐含层第(j)个节点(节点阈值为 0)、输出层第(k)个节点(节点阈值为 0)的实际输入分别为 $I_{js}^{(2)}$ 、 $I_{ks}^{(3)}$, 实际输出分别为 $\gamma_{js}^{(2)}$ 、 $\gamma_{ks}^{(3)}$, 网络的期望输出值为 t_{ks} (其中 t_{ks} 要作预处理), 则:

隐含层第(j)个节点的输入:

$$I_{js}^{(2)} = \sum_{i=1}^6 x_{is} w_{ij}^{(1)}$$

隐含层第(j)个节点的输入与输出有下列关系式:

$$\gamma_{js}^{(2)} = \phi(I_{js}^{(2)}) = \phi\left(\sum_{i=1}^6 x_{is} w_{ij}^{(1)}\right)$$

输出层第(k)个节点的输入:

$$I_{ks}^{(3)} = \sum_{j=1}^{13} \gamma_{js}^{(2)} w_{jk}^{(2)}$$

输出层第(k)个节点的输入与输出有下列关系式:

$$\gamma_{ks}^{(3)} = \phi(I_{ks}^{(3)}) = \phi\left(\sum_{j=1}^{13} \gamma_{js}^{(2)} w_{jk}^{(2)}\right)$$

输出层期望值与实际值之间的误差:

$$E_s = \sum_{k=1}^2 (t_{ks} - \gamma_{ks}^{(3)})^2$$

采用反向梯度搜索技术,调整 $w_{ij}^{(1)}$ 和 $w_{jk}^{(2)}$,以使 E_s 减少,输出层两节点误差分量分别为(式中: τ 表示当前训练, $\tau-1$ 表示上次训练):

$$\begin{aligned} \delta_{1s}^{(3)}(\tau) &= -\frac{\partial E_s(\tau)}{\partial I_{1s}^{(3)}(\tau)} = -\frac{\partial E_s(\tau)}{\partial \gamma_{1s}^{(3)}(\tau)} \frac{\partial \gamma_{1s}^{(3)}(\tau)}{\partial I_{1s}^{(3)}(\tau)} \\ \delta_{2s}^{(3)}(\tau) &= -\frac{\partial E_s(\tau)}{\partial I_{2s}^{(3)}(\tau)} = -\frac{\partial E_s(\tau)}{\partial \gamma_{2s}^{(3)}(\tau)} \frac{\partial \gamma_{2s}^{(3)}(\tau)}{\partial I_{2s}^{(3)}(\tau)} \end{aligned}$$

隐含层第(j)个节点的误差分量为:

$$\delta_{js}^{(2)}(\tau) = \left(\sum_{k=1}^2 \delta_{ks}^{(3)}(\tau) w_{jk}^{(2)}(\tau) \right) \gamma_{js}^{(2)}(\tau) (1 - \gamma_{js}^{(2)}(\tau)) \quad (j = 1, 2, \dots, 13)$$

引入惯性系数 b 及学习速率 a ,则隐含层第(j)个节点与输出层第(k)个节点之间的权重调整量为:

$$\Delta_s w_{jk}^{(2)}(\tau) = a \delta_{ks}^{(3)}(\tau) \gamma_{js}^{(2)}(\tau) + b \Delta_s w_{jk}^{(2)}(\tau - 1)$$

隐含层第(j)个节点与输入层第(i)个节点的权重调整量为:

$$\Delta_s w_{ij}^{(1)}(\tau) = a \delta_{js}^{(2)}(\tau) x_{is}(\tau) + b \Delta_s w_{ij}^{(1)}(\tau - 1)$$

隐含层第(j)个节点与输出层第(k)个节点的权重调整公式为:

$$w_{jk}^{(2)}(\tau) = w_{jk}^{(2)}(\tau) + \Delta_s w_{jk}^{(2)}(\tau)$$

隐含层第(j)个节点与输入层第(i)个节点的权重调整公式为:

$$w_{ij}^{(1)}(\tau) = w_{ij}^{(1)}(\tau) + \Delta_s w_{ij}^{(1)}(\tau)$$

对网络按上述权重调整方法进行多次训练,直至误差在预定的范围内或者是权重的改变不能进一步提高精度为止,此时得到的以神经网络表示的映射关系,即为功能性结构设计的劳动度量测算模型 ψ 。

5.2.6 非功能性结构设计过程的特性

5.2.6.1 非功能性结构设计过程的组成

非功能性结构设计过程属模式化设计,该过程包括草图设计和详细设计两个工作步,归类合并两者的操作,可以得到该过程的9项操作。

(1)非功能性结构设计过程中的操作

对不同类型的机械产品,由于产品结构、性能、运动方式等方面的差异,零件种类、个数、形状及零件之间的布局、配合与零件材料的选择、精度要求等有很大差别,表现在设计过程中,既有各操作及其影响因素的不同,又有各操作及其影响因素权重结构方面的差异。

(2)同类产品的非功能性结构设计

面向同类产品的非功能性结构设计,由于设计目标与内容的相似性,各操作及其影响因素有相同的权重集,但影响因素的属性值不同。因此,非功能性结构设计过程的劳动度量方法与模型研究,也必须是在同类设计过程的前提下,由非功能性结构设计过程来完成。

5.2.6.2 非功能性结构设计过程的影响因素

(1)非功能性结构设计过程的劳动度量

针对同类产品非功能性结构设计过程的特点,首先建立它的递阶层次结构,应用层次分析法(The Analytic Hierarchy Process, AHP),计算各操作及其影响因素的权重集,以描述各操作及其影响因素在同类产品非功能性结构设计过程中的相似性。

各操作及其影响因素的属性,反映了同类产品不同设计过程的特点,决定了不同设计过程劳动量之间的差别。采用模糊综合评判技术,可以判定影响因素的属性值,进而计算各操作的属性值,在获取神经网络训练样本的基础上,就可以建立劳动量与操作之间的对应关系。

(2)非功能性结构设计过程的递阶层次结构

应用AHP原理,非功能性结构设计过程的递阶层次结构,如图5.7所示。对非功能性结构设计过程而言,递阶层次结构的目标层

是在设想设计工作步中,已确定的最优技术原理链,第二层是草图设计和详细设计两个工作步中所包括的 9 项操作,第三层是每一操作的影响因素。其中 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 操作有相同的影响因素,共 9 个; B_5 操作有 3 个影响因素; B_6 、 B_7 、 B_8 、 B_9 也有相同的 9 个影响因素。

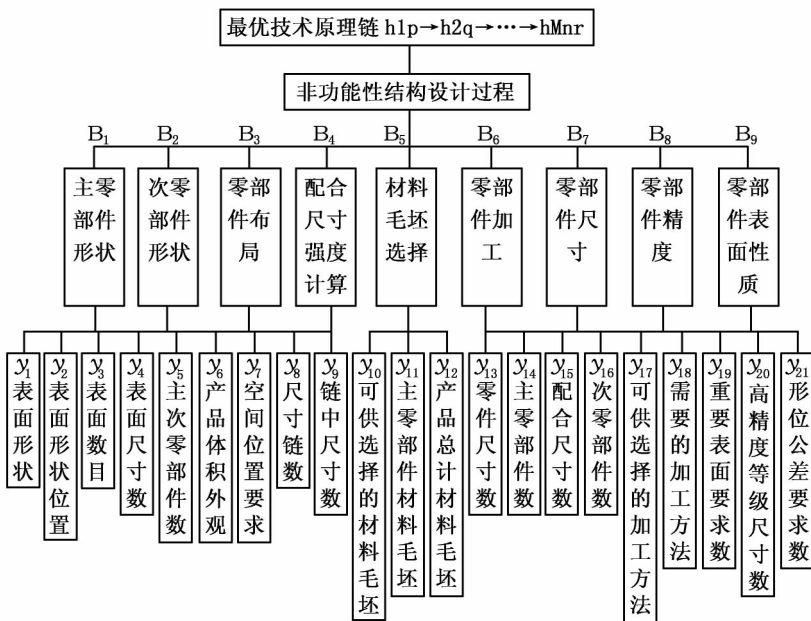


图 5.7 非功能性结构设计的递阶层次结构

根据所建立的递阶层次结构,对各操作所隶属的影响因素,基于该操作面向同类产品的若干非功能性结构设计过程,作影响因素的两两比较,以构造两两比较判断矩阵 $G^{(l)}$, $G^{(l)}$ 为正的互反矩阵, $l=1, 2, \dots, 9$, 有 Perron 定理, $G^{(l)}$ 存在归一化的唯一正实数最大特征。

根据 $\lambda_{\max}$ 和正实数的特征向量分量,即通过解特征方程:

$$G^{(l)} w^{(l)} = \lambda_{\max} w^{(l)}$$

可以得到基于 $G^{(l)}$ 的 $w^{(l)}$:

$$w^{(l)} = (w_1^{(l)}, w_2^{(l)}, \dots, w_n^{(l)})^T$$

$$l=1,2,\dots,9$$

5.2.6.3 操作属性值的确定

(1) 模糊关系矩阵

递阶层次结构中各影响因素的属性值,在设计之初一般难以给出具体的数值,而且有一些影响因素本身是模糊的和不确定的,可以采用领域专家或专业测算人员进行模糊综合评判(Fuzzy Synthetic Evaluation, FSE)的方法,给出影响因素的属性值。

设各操作的影响因素集 $U^{(l)} = \{u_1^{(l)}, u_2^{(l)}, \dots, u_n^{(l)}\}$, 评语集 $V = \{j_1, j_2, \dots, j_m\}$, 则可得到模糊关系矩阵:

$$R^{(1)} = \begin{bmatrix} r_{11}^{(l)} & r_{12}^{(l)} & \cdots & r_{1m}^{(l)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1}^{(l)} & r_{n2}^{(l)} & \cdots & r_{nm}^{(l)} \end{bmatrix}$$

(2) 操作的属性值

各操作的属性值,可以采用下式进行计算:

$$c^{(l)} = \max\{(w^{(l)})^T \oplus R^{(l)}\}$$

$$l=1,2,\dots,9$$

5.2.7 非功能性结构设计过程的劳动度量模型

5.2.7.1 神经网络的结构

以标准计量条件下评定的第 s 个样本各操作属性值 $c_s^{(l)}$ 为输入集, $l=1,2,\dots,9, s=1,2,\dots,A$, 以 WSS 测定非功能性结构设计过程的样本时间值 t_s 为输出集, 训练相应的神经网络。

其中,神经网络的输入层节点为 9, 输出层节点为 1, 隐含层节点根据 Kolmogorov 定理为 19, 学习速率 a 与惯性系数 b , 根据模拟的结果选出, 采用下列给出的 BP 算法, 反向调整网络参数, 就可以得到非功能性结构设计过程的劳动度量模型, 如图 5.8 所示。

5.2.7.2 劳动度量模型的建立

假设输入层第 (l) 个节点至隐含层第 (e) 个节点、隐含层第 (e) 个节点至输出层节点的权重系数分别为 $v_{le}^{(1)}, v_{ed}^{(2)}, l=1, \dots, 9, e=1, 2, \dots, 19$, 节点函数 φ 取 sigmoid 函数。

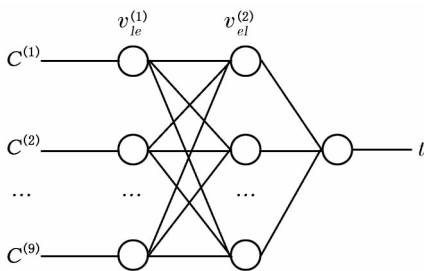


图 5.8 非功能性结构设计的劳动度量模型

对第 s 个样本,隐含层第 (e) 个节点、输出层节点的实际输入分别为 $I_{es}^{(2)}$ 、 $I_{1s}^{(3)}$,实际输出分别为 $\gamma_{es}^{(2)}$ 、 $\gamma_{1s}^{(3)}$,网络输出的期望值为 t_s (t_s 要作预处理),隐含层第 (e) 个节点 (节点阈值为 0) 的输入有下列关系式:

$$I_{es}^{(2)} = \sum_{l=1}^9 c_s^{(l)} v_{le}^{(1)}$$

隐含层第 (e) 个节点输入与输出的关系式:

$$\gamma_{es}^{(2)} = \phi(I_{es}^{(2)}) = \phi\left(\sum_{l=1}^9 c_s^{(l)} v_{le}^{(1)}\right)$$

输出层的输入:

$$I_{1s}^{(3)} = \sum_{e=1}^{19} \gamma_{es}^{(2)} v_{e1}^{(2)}$$

输出层的输入与输出:

$$\gamma_{1s}^{(3)} = \phi(I_{1s}^{(3)}) = \phi\left(\sum_{e=1}^{19} \gamma_{es}^{(2)} v_{e1}^{(2)}\right)$$

输出层期望值与实际值之间的误差:

$$E = (t_s - \gamma_{1s}^{(3)})^2$$

输出层节点误差分量 (式中: τ 表示当前训练, $\tau - 1$ 表示上次训练):

$$\delta_{1s}^{(3)}(\tau) = -\frac{\partial E_s(\tau)}{\partial I_{1s}^{(3)}(\tau)} = -\frac{\partial E_s(\tau)}{\partial \gamma_{1s}^{(3)}(\tau)} \frac{\partial \gamma_{1s}^{(3)}(\tau)}{\partial I_{1s}^{(3)}(\tau)}$$

隐含层第 (e) 个节点误差分量:

$$\delta_{es}^{(2)}(\tau) = (\delta_{1s}^{(3)}(\tau)v_{e1}^{(2)}(\tau))\gamma_{es}^{(2)}(\tau)(1 - \gamma_{es}^{(2)}(\tau))$$

输入层第(l)个节点与隐含层第(e)个节点之间的权重调整量:

$$\Delta_s v_{le}^{(1)}(\tau) = a\delta_{es}^{(2)}(\tau)c_s^{(l)}(\tau) + b\Delta_s v_{le}^{(1)}(\tau - 1)$$

隐含层第(e)个节点与输出层节点之间的权重调整量:

$$\Delta_s v_{e1}^{(2)}(\tau) = a\delta_{1s}^{(3)}(\tau)\gamma_{es}^{(2)}(\tau) + b\Delta_s v_{e1}^{(2)}(\tau - 1)$$

隐含层第(e)个节点与输出层节点之间的权重调整公式:

$$v_{e1}^{(2)}(\tau) = v_{e1}^{(2)}(\tau) + \Delta_s v_{e1}^{(2)}(\tau)$$

输入层第(l)个节点与隐含层第(e)个节点之间的权重调整公式:

$$v_{le}^{(1)}(\tau) = v_{le}^{(1)}(\tau) + \Delta_s v_{le}^{(1)}(\tau)$$

5.3 面向对象基于知识处理的 工程设计劳动度量模型

针对工程设计劳动过程中,不同的人员或不同类型的劳动过程有不同的知识处理机制,而且,即使同一类人员或劳动过程,不同种类的劳动对象,又有不同的知识表示结构模型的特点。本书将以工程设计劳动为例,给出面向工程设计对象的劳动度量研究。

5.3.1 设计对象的特点

5.3.1.1 设计对象的定性性和概念性

在工程设计中,设计者在设计之初面对的是设计技术要求,这些设计技术要求通常采用自然语言的形式,遵照自然语言的语法、句法和词汇规则,以陈述的方式,说明设计技术要求的性质、特征和范围。

自然语言在形式上十分简单,但对它的理解与解释却十分困难,这不仅在于自然语言本身是极其复杂的,所表达的语义也具有诸多含混的因素,如定义不清,基准不一致等,而且在于对它的理解和解释需要有大量的概念和背景知识。这说明以自然语言表示的设计技术要求具有定性性和概念性的特点。

5.3.1.2 设计对象的模糊性、不确定性、不完整性和不精确性

首先,设计对象以自然语言来表示,而自然语言本身具有模糊性和不确定性的特点,其次,在设计开始时,人们对要设计的产品存在着认识上和理解上的不完整性和不精确性,不可能完整准确地描绘出设计对象详细而具体的结构、特征,如功能状态、主次功能之间的分配等,因此,设计对象是模糊的、不确定的、不完整和不精确的。

5.3.1.3 设计对象的知识性

设计技术要求虽然以简单的字符来表示,但它涉及的知识却是极深奥、极复杂的。设计对象的知识性首先来源于对设计技术要求的理解和解释,需要有厚实的基础理论、熟练的专业技能和丰富的实践经验;其次,设计对象的知识性还表现在它的模糊性和不确定性方面。正因为设计对象的这些特征,使对设计对象的理解和处理比对一般事物的理解和处理需要有更宽广、更系统和更深入的知识。

5.3.1.4 设计对象的可处理性

知识一旦以某种形式表示出来,就有可能对它进行处理,而且处理的方式是多种多样的,而设计对象具有知识性,因此,设计对象也是可以采用多种方式进行处理的。

5.3.2 自然语言的模糊表示

5.3.2.1 语言的模糊模型

由于在自然语言所表述的含义中充满着各种各样的模糊概念和对象,所以自然语言一般可以采用模糊模型来描述。假设 A 为一个有限字符的集合, A^* 表示由 A 中的字符构成的所有字符串的集合(包括空串), U 为一个广泛的论域, S 为 A^* 上的一个模糊集,用以表示语言各种成分的名字及其拼写的合法程度, $\text{Supp}(S)$ 为 S 的支集, I 是从 $\text{Supp}(S)$ 到 $F(U)$ 上的映象,是对各种语言成分的语义解释,那么,自然语言就可用一个 4 元组来表示,即 $FL = \{A, U, S, I\}$ 。

按照 Zadeh 的思想,首先应对 S 所包含的基本语言成分,如名词、形容词等用模糊集来描述,然后对一些用以修饰基本语言成分的修饰词,如副词、语气词等作为作用于基本语言成分模糊集之上的修

饰算子定义出来,使经修饰的基本语言成分也能表示成模糊集。同时定义模糊集上的各种运算及表示“大部分”、“一些”、“大概”、“几乎”等模糊概念的模糊量词,以扩充传统逻辑中的全称量词和存在量词,最后定义各种模糊句型,从而实现对自然语言的描述。

5.3.2.2 语气算子

语气算子是表示或解释自然语言中的一些副词,如“极”、“很”、“相当”、“较”、“稍许”等,它们通常放在一个单词前面,以加强或减弱语气、加强或减弱肯定的程度等,从而构成一个新词。

Zadeh 建议用原隶属函数的次幂来实现肯定程度的调整,把原隶属函数映象为另一隶属函数,即把它看成 $F(U)$ 到 $F(U)$ 的一个映象 H_λ , λ 值的对应语义分别为 $\lambda = 4$ 时, H_λ 表示“极”; $\lambda = 2$ 时, H_λ 表示“很”,如此等等。

5.3.2.3 模糊化算子

模糊化算子通常放在词组的前面,使单词的语义更加模糊化,表示自然语言中的“大约”、“左右”之类的词汇,一般采用一个相似模糊关系 $E(u, v) (u, v \in U)$, 与被修饰词的隶属函数 $\mu(u)$ 作结合运算来实现,即:

$$E(u, v) \circ \mu(u) = \bigvee_{u \in U} (E(u, v) \wedge \mu(u))$$

当 $U = (-\infty, +\infty)$ 时,常取:

$$E(u, v) = \begin{cases} e^{-(u-v)^2}, & \text{当 } |u-v| < \delta \\ 0, & \text{当 } |u-v| \geq \delta \end{cases}$$

其中 $0 < \delta < +\infty$, δ 的取值反映了模糊化的程度。

5.3.2.4 模糊陈述句

陈述句的一般形式为“ u 是 α ”,其中 $u \in U$, 称为语言变量, α 是描述一个模糊概念或对象的单词或词组。陈述句“ u 是 α ”表示了一个模糊谓词,设 α 用具有隶属函数 $\mu_\alpha(v)$, $v \in V$ 的模糊集来解释,这里 V 是描述模糊概念 α 所用的一个论域。于是,对任意确定的 $u_0 \in U$, 可计算出 u_0 , 使该谓词为真的程度 $\mu_\alpha(v)$, 其中, v_0 表示 u_0 在 V 中的映象。

5.3.3 设计对象的知识表示

5.3.3.1 设计对象的基本知识表示结构模型

从设计对象的本质看,设计对象主要是陈述产品的功能要求、设计约束和使用范围,是对产品设计的若干规定或限制。一般来讲,对不同类型的设计对象,功能要求、设计约束和使用范围是不同的,若以模糊谓词来描述它们,则表现在模糊谓词的性质和个数及隶属度值方面的差异;对同类设计对象而言,功能要求、设计约束和使用范围是相似或基本相似的,体现在描述它们的模糊谓词在性质与个数上是一致的,即具有质上的类同性,但模糊谓词的隶属度值不同。为此,本书提出由功能要求 $\tilde{f}_i$ 、设计约束 $\tilde{r}_l$ 和使用范围 $\tilde{s}_m$ 三类模糊谓词组成的设计对象的基本知识表示结构模型,其中, $i = 1, 2, \dots, I$, $l = 1, 2, \dots, L$, $m = 1, 2, \dots, M$, 分别表示三类谓词的个数。

5.3.3.2 设计对象的知识表示

首先,视功能要求、设计约束和使用范围三类因素为三组模糊谓词,然后,将模糊谓词看作是给定个体域到真值集合上的模糊映射,其真值取区间 $[0, 1]$ 上的任意值,以一个映射表示一个知识元,并应用语气算子、模糊化算子、量词(全称量词“ $\forall$ ”、存在量词“ $\exists$ ”)修饰单一知识元,逻辑连接词“与($\wedge$)”、“或($\vee$)”、“非($\neg$)”、“蕴含($\rightarrow$)”、“等价($\leftrightarrow$)”做单一知识元的组合运算等,进行知识的表示。

若论域 U 为工程设计中某一类设计对象的全体。

设 $F = \{\tilde{f}_i \mid i = 1, 2, \dots, I, \tilde{r}_l \mid l = 1, 2, \dots, L, \tilde{s}_m \mid m = 1, 2, \dots, M\}$ 为由 U 所决定的模糊谓词集, T 为 F 的真值。

x_j 为 U 上的个体域, $j = 1, 2, \dots, J$, 则 $(\tilde{f}_i(x_j), \tilde{r}_l(x_j), \tilde{s}_m(x_j))$ 为 x_j 的基本知识表示结构模型,式中 $\tilde{f}_i, \tilde{r}_l, \tilde{s}_m \in F, x_j \in U$

且

$$T(\tilde{f}_i(x_j)) \in [0, 1]$$

$$T(\tilde{r}_l(x_j)) \in [0, 1]$$

$$T(\tilde{s}_m(x_j)) \in [0, 1]$$

若 $O = \{\vee, \wedge, \neg, \rightarrow, \leftrightarrow\}$ 为模糊谓词逻辑的算子集, 则对任意模糊谓词, 如 $\tilde{f}_i$ 和 $\tilde{f}_j, \tilde{f}_i, \tilde{f}_j \in \tilde{F}$, 有:

$$T(\tilde{f}_i \vee \tilde{f}_j) = \max[T(\tilde{f}_i), T(\tilde{f}_j)]$$

$$T(\tilde{f}_i \wedge \tilde{f}_j) = \min[T(\tilde{f}_i), T(\tilde{f}_j)]$$

$$T(\neg \tilde{f}_i) = 1 - T(\tilde{f}_i)$$

$$T(\tilde{f}_i \rightarrow \tilde{f}_j) = \min[1, 1 - (T(\tilde{f}_i) - T(\tilde{f}_j))]$$

$$T(\tilde{f}_i \leftrightarrow \tilde{f}_j) = T(\tilde{f}_i \rightarrow \tilde{f}_j) \wedge T(\tilde{f}_j \rightarrow \tilde{f}_i)$$

若 $V = \{\forall, \exists\}$ 为模糊谓词逻辑的量词集, 则对模糊谓词, 如 $\tilde{f}_i, \tilde{f}_i \in \tilde{F}$, 有:

$$(\forall x) \tilde{f}_i(x) = \bigwedge_{x_j \in U} \tilde{f}_i(x_j)$$

$$(\exists x) \tilde{f}_i(x) = \bigvee_{x_j \in U} \tilde{f}_i(x_j)$$

又若 H_λ 为语气算子, λ 为一正实数, E 为模糊化算子, 则知识表示可通过算子运算和量词修饰若干单一知识元来实现, 记为 $\tilde{y}_i, \tilde{y}_l, \tilde{y}_m$, 则 $\tilde{y}_i, \tilde{y}_l, \tilde{y}_m$ 可表示为:

$$\tilde{y}_i = (O, V, H_\lambda, E, \tilde{f}_i(x_j))$$

$$\tilde{y}_l = (O, V, H_\lambda, E, \tilde{r}_l(x_j))$$

$$\tilde{y}_m = (O, V, H_\lambda, E, \tilde{s}_m(x_j))$$

$$T(\tilde{y}_i) \in [0, 1]; T(\tilde{y}_l) \in [0, 1]; T(\tilde{y}_m) \in [0, 1]$$

$$(i, 1, 2, \dots, I; l = 1, 2, \dots, L; m = 1, 2, \dots, M)$$

$$a_i = T(\tilde{y}_i); b_l = T(\tilde{y}_{l+1}); c_m = T(\tilde{y}_{m+I+L})$$

则:

$$\tilde{r} = \left(\frac{a_1}{\tilde{y}_1}, \frac{a_2}{\tilde{y}_2}, \dots, \frac{a_I}{\tilde{y}_I}, \frac{b_1}{\tilde{y}_{I+1}}, \frac{b_2}{\tilde{y}_{I+2}}, \dots, \frac{b_L}{\tilde{y}_{I+L}}, \frac{c_1}{\tilde{y}_{I+L+1}}, \frac{c_2}{\tilde{y}_{I+L+2}}, \dots, \frac{c_M}{\tilde{y}_{I+L+M}} \right)$$

为该设计对象的知识表示。

从知识工程的角度讲, 知识获取是把已有的知识(包括经验、规则、事实等), 从书本中总结和抽取出来, 并转换成某种形式的表示。

对从事工程设计的劳动者而言,知识获取是大脑长期不断学习、积累的过程,通过学习、积累,大脑掌握了处理一般问题的原则和方法及处理特定问题的技巧与手段;对模仿大脑知识处理功能的人工神经网络而言,也必须首先获取并存储知识,掌握知识处理的规则,即基于一定学习算法基础上的网络自学习和模糊知识的逻辑处理。

5.3.4 设计劳动度量模型

5.3.4.1 模糊双向联想记忆神经网络

模糊双向联想记忆(Fuzzy Bi-directional Associative Memory, FBAM)神经网络,是一类可实现模糊联想存储及模糊映射变换的双向双层对称网络。

若存储模式对为 $(\tilde{A}^{(s)}, \tilde{B}^{(s)})$,其中:

$$\tilde{A}^{(s)} = \left(\frac{a_1^{(s)}}{x_1}, \frac{a_2^{(s)}}{x_2}, \dots, \frac{a_m^{(s)}}{x_m} \right)$$

$$\tilde{B}^{(s)} = \left(\frac{b_1^{(s)}}{y_1}, \frac{b_2^{(s)}}{y_2}, \dots, \frac{b_n^{(s)}}{y_n} \right)$$

则网络 LA 层有 m 个模糊节点,对应于 $\tilde{A}^{(s)}$ 的 m 个分量; LB 层有 n 个模糊节点,对应于 $\tilde{B}^{(s)}$ 的 n 个分量,如图5.9所示。网络联想由下列方程完成:

$$\tilde{B}^{(s)} = \tilde{A}^{(s)} \circ W$$

或

$$\tilde{A}^{(s)} = \tilde{B}^{(s)} \circ R$$

式中:“ $\circ$ ”为模糊极大与极小合成运算, $W = \{w_{ij}\}$, $R = \{r_{ji}\}$, $s = 1$,

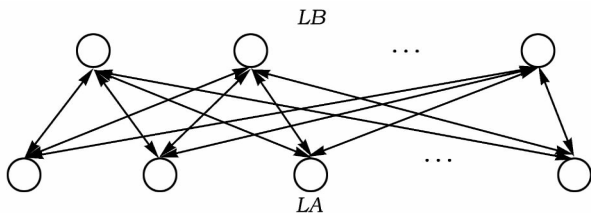


图 5.9 模糊双向联想记忆神经网络

2, \dots, A。

但对多模式模糊联想记忆学习, 这样的矩阵并不存在, 即使存在, 由上式得到的也不一定是解, 而且, 对模糊联想记忆网络只进行一次训练, 便形成网络的连接矩阵, 这就导致训练模式的选择对矩阵的形成影响极大。

5.3.4.2 劳动度量模型

为使网络实现对多个存贮模式的联想映射, 本书给出具有自适应优化特性的模糊联想映射算法, 即对网络进行多模式对训练, 以模糊合成运算的微分法为基础, 将梯度下降搜索技术与模糊型学习规则结合起来, 应用能量函数反映网络性能, 并反向调整权向量, 使网络输出与期望输出的均方差减小。

基于知识处理的设计劳动度量模型, 如图 5.10 所示。

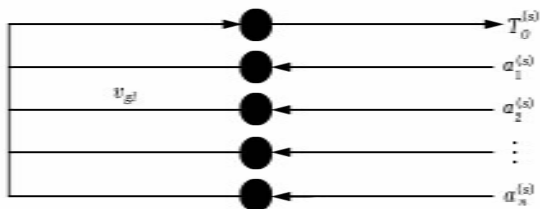


图 5.10 基于知识处理的设计劳动度量模型

该模型由两层组成, 其中第一层为输入层, 节点数与知识表示结构模型中的模糊变量数相等, 设为 p ; 第二层为劳动量输出, 节点数为 1。设第二层节点的输入为 $I_1^{(s)}$ (节点阈值为 0), 输入层第 (g) 个节点和输出层节点的连接权为 v_{g1} , $g = 1, 2, \dots, p$, 给出网络 A 个学习样本对, 则对第 (s) 个样本, 若 U 上设计对象的知识表示结构模型为:

$$\tilde{r}^{(s)} = \left(\frac{a_1^{(s)}}{y_1}, \frac{a_2^{(s)}}{y_2}, \dots, \frac{a_p^{(s)}}{y_p} \right)$$

$T_0^{(s)}$ 为 $\tilde{r}^{(s)}$ 的网络实际输出劳动量, $T_d^{(s)}$ 为 $\tilde{r}^{(s)}$ 的期望输出劳动量, 则 $(\tilde{r}^{(s)}, T_d^{(s)})$ 为一学习样本对, 其中, $s = 1, 2, \dots, A$ 。

输出层节点的输入:

$$I_1^{(s)} = [\vee (a_g^{(s)} \wedge v_{g1})]$$

输出层输入与输出有下列关系式:

$$T_o^{(s)} = I_1^{(s)}$$

网络评价函数 E :

$$\begin{aligned} E &= \sum E^{(s)} \\ &= \frac{1}{2} \sum_{s=1}^A (T_d^{(s)} - T_o^{(s)})^2 = \frac{1}{2} \sum_{s=1}^A (T_d^{(s)} - (\vee (a_g^{(s)} \wedge v_{g1})))^2 \end{aligned}$$

采用梯度搜索技术,调整 v_{g1} ,以使 E 减少,为此

令: $x^{(s)} = -(T_d^{(s)} - T_o^{(s)})$, 则:

$$\frac{\partial E^{(s)}}{\partial v_{g1}} = \chi^{(s)} \frac{\partial (\vee (a_g^{(s)} \wedge v_{g1}))}{\partial v_{g1}}$$

为求出 $\frac{\partial E^{(s)}}{\partial v_{g1}}$,先定义模糊微分算子:

$$\begin{aligned} \frac{\partial (a \wedge b)}{\partial a} &= \begin{cases} 1 & a \leq b \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \\ \frac{\partial (a \vee b)}{\partial a} &= \begin{cases} 1 & a \geq b \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \end{aligned}$$

根据模糊微分算子,则 $\frac{\partial [\vee (a_g^{(s)} \wedge v_{g1})]}{\partial v_{g1}}$ 有下列计算公式:

$$\frac{\partial [\vee (a_g^{(s)} \wedge v_{g1})]}{\partial v_{g1}} = \begin{cases} 1 & v_{g1} = (a_g^{(s)} \wedge v_{g1}) \geq \bigvee_{l=1}^p (a_l^{(s)} \wedge v_{l1}) \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

输入层第 (g) 个节点和输出层节点之间的权重调整公式:

$$v_{g1} = v_{g1} - m \frac{\partial E^{(s)}}{\partial v_{g1}}$$

式中: m 为学习速率。

6 工程设计劳动度量模型的应用实例

6.1 面向过程基于知识数量的工程设计劳动度量模型应用

6.1.1 案例说明

设计技术要求

以机械产品虾体分级机的设计过程为例,设计任务为虾体分级,主要设计技术要求为:

- ①对虾体伤害要轻微;
- ②生产效率较高,作业自动化程度高;
- ③分离效果好;
- ④分离动力简单,而且,物料的输入和输出不需要其他的辅助装置。

6.1.2 设计过程分析

6.1.2.1 设计过程实现的技术原理

对该设计对象的技术要求进行功能抽象、功能分解和功能原理组合后,确定功能要求为:

① 分离要求,物料按大小分成多级;

② 适应输入物料和输出物料特性,输入物料大小混杂且排列无序,输出物料按大小不同分组,并保持其性能;

③ 输入和输出借助于重力。

6.1.2.2 设计过程的影响因素

对该设计对象的技术要求进行功能抽象、功能分解和功能原理组合后,确定功能性结构设计过程要求为:

① 功能数。通过对设计过程实现的技术原理分析,可以得到该设计过程的功能数 $N=3$ 。

② 分离功能的技术原理。分离功能的基本功能单元 $M_1=1$,技术原理包括平面筛、球形筛和变形筛 $L_1=3$ 。

③ 满足输入和输出物料的技术原理。适应输入和输出物料特性功能的基本功能单元 $M_2=2$,输入特性基本功能单元的技术原理,包括借助液压和重力 $L_{21}=2$,输出特性基本功能单元的技术原理,包括借助机械推力、离心力和重力 $L_{22}=3$ 。

④ 输入和输出的技术原理。满足输入和输出要求的基本功能单元 $M_3=1$,技术原理是借助于重力 $L_3=1$ 。

根据上述分析,可以得到机械产品虾体分级机功能性结构设计过程的因素一般值为:

$$N=3, M=(1+2+1)/3=1.33, L=(3+6+1)/3=3.33。$$

6.1.3 功能性结构设计过程的劳动度量

通过专业度量人员或领域专家对该类设计对象的 10 个样本过程进行区间值确定和抽样测时,可以得到 10 对 N, M, L 的区间值与 T 的区间测时值。表 6.1 为采集的样本对值,其中 N, M, L 的值为实际值, T 的值为实际值的 1%。表 6.2 为学习速率和惯性系数(a, b)的组合数据,选取均方差为 $\epsilon < 0.0125$,然后,按给定的学习算法,对网络进行 8 000 次训练。

表 6.1 虾体分级机功能性结构设计的样本

样本	输入集						输出集	
	N_s		M_s		L_s		t_s	
s	X_{1s}	X_{2s}	X_{3s}	X_{4s}	X_{5s}	X_{6s}	t_{1s}	t_{2s}
1	5.00	6.00	1.40	1.50	3.50	4.00	0.44	0.48
2	5.00	6.00	1.40	1.50	3.00	3.50	0.36	0.40
3	5.00	6.00	1.40	1.50	2.80	3.00	0.30	0.32
4	5.00	6.00	1.40	1.50	2.50	2.80	0.25	0.30
5	4.00	5.00	1.40	1.50	3.50	4.00	0.40	0.44
6	3.00	4.00	1.40	1.50	3.50	4.00	0.35	0.40
7	2.00	3.00	1.40	1.50	3.50	4.00	0.30	0.35
8	5.00	6.00	1.60	1.80	3.50	4.00	0.48	0.52
9	5.00	6.00	1.80	2.00	3.50	4.00	0.52	0.56
10	5.00	6.00	2.00	2.20	3.50	4.00	0.56	0.60

表 6.2 学习速率 a 和惯性系数 b 的选取

		惯性系数					
		第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组	第 5 组	第 6 组
		$b=0.700$	$b=0.700$	$b=0.700$	$b=0.900$	$b=0.900$	$b=0.900$
学习速率	a	0.026	0.034	0.042	0.026	0.034	0.042
		0.028	0.036	0.044	0.028	0.036	0.044
		0.030	0.038	0.046	0.030	0.038	0.046
		0.032	0.040	0.048	0.032	0.040	0.048

基于 MATLAB5.2 编制了计算机实现程序,分别对学习速率和惯性系数的多种组合状态进行了仿真试验,得到多个劳动度量模型,模型的误差曲线,如图 6.1 所示,其中图形的纵轴为全局样本误差平方和 E ,横轴为训练次数 i 。仿真试验结果表明,模型对多种参数的

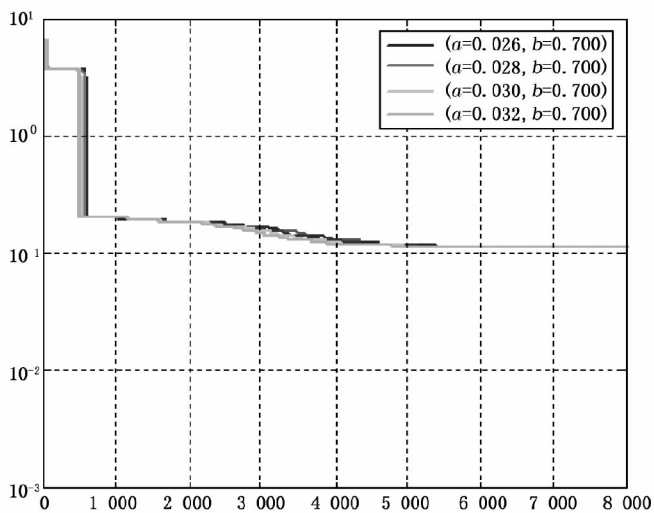
组合状态具有普适性和稳定性,并可以得到如下结论:

(1)在相同惯性系数的条件下,学习速率增加,模型的收敛速度加快。在相同学习速率的条件下,惯性系数增加,收敛速度也加快,但学习速率对收敛速度的影响较大。

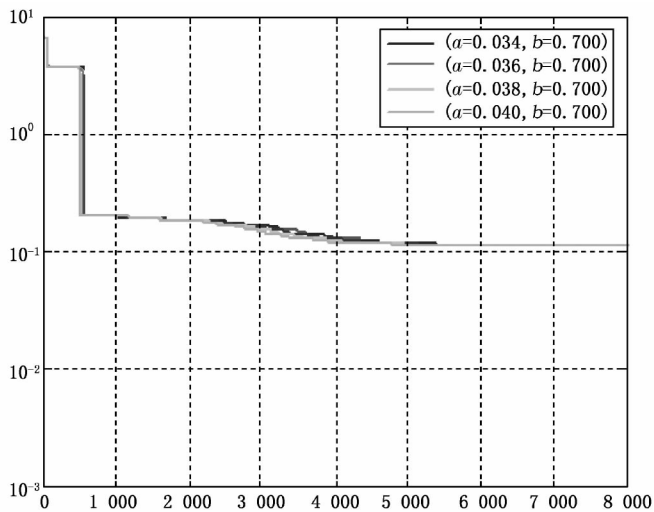
(2)根据模型的全局样本均方差,对不同参数状态下的模型作出稳定性检验,表 6.3 给出一个输入集 $Y_s = (5.00 \quad 6.00 \quad 1.40 \quad 1.50 \quad 3.50 \quad 4.00)$ 应用模型,进行的稳定性检验,结果表明,模型具有较强的稳定性,在此基础上,表 6.4 给出模型的全局均方差比较,最终确认满足误差要求的度量模型。附录列出选定的一些度量模型权重值。表 6.5 选择满足误差要求的模型,给出应用示例。

表 6.3 虾体分级机功能性结构设计劳动度量模型的稳定性检验

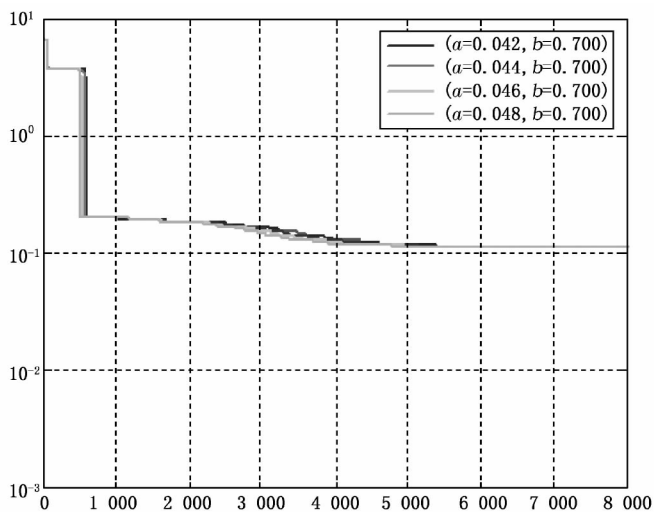
	模型输入值						模型输出值		期望值		误差	
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y_1	y_2	t_1	t_2	$(t_1 - y_1)^2$	$(t_2 - y_2)^2$
图 I 曲线 2	5.0	6.0	1.4	1.5	3.5	4.0	0.421 3	0.464 1	0.44	0.48	0.000 3	0.000 3
图 I 曲线 3	5.0	6.0	1.4	1.5	3.5	4.0	0.422 6	0.465 3	0.44	0.48	0.000 3	0.000 2
图 II 曲线 1	5.0	6.0	1.4	1.5	3.5	4.0	0.424 3	0.467 0	0.44	0.48	0.000 2	0.000 2
图 II 曲线 2	5.0	6.0	1.4	1.5	3.5	4.0	0.425 0	0.467 6	0.44	0.48	0.000 2	0.000 2
图 IV 曲线 1	5.0	6.0	1.4	1.5	3.5	4.0	0.421 7	0.464 5	0.44	0.48	0.000 3	0.000 2
图 IV 曲线 2	5.0	6.0	1.4	1.5	3.5	4.0	0.422 9	0.465 6	0.44	0.48	0.000 3	0.000 2



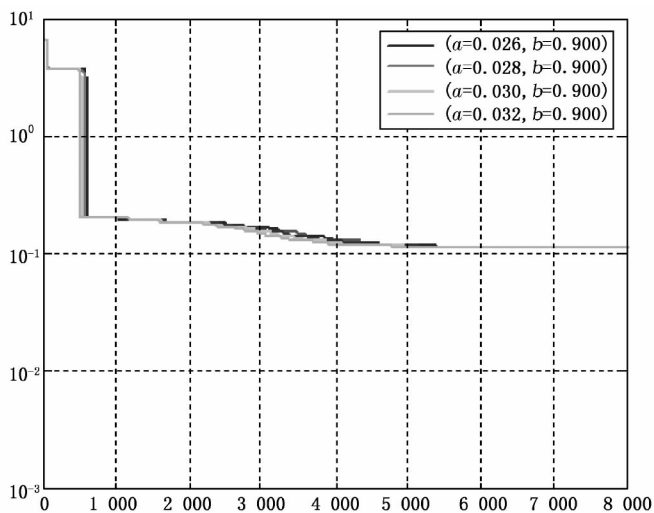
(I)



(II)



(III)



(IV)

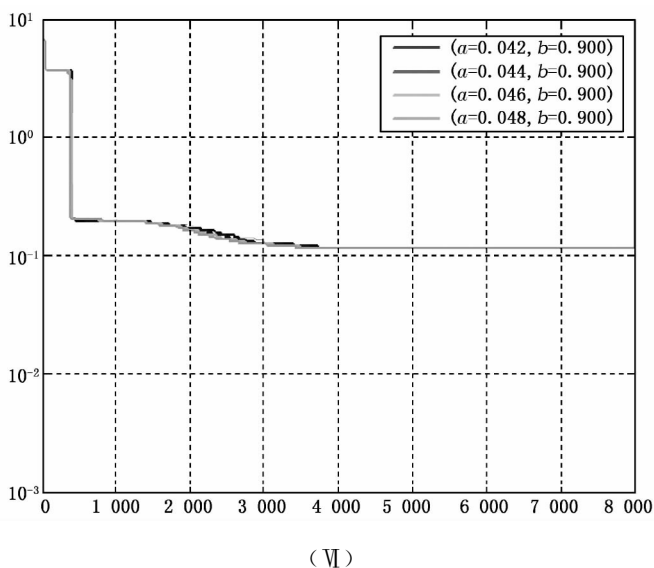
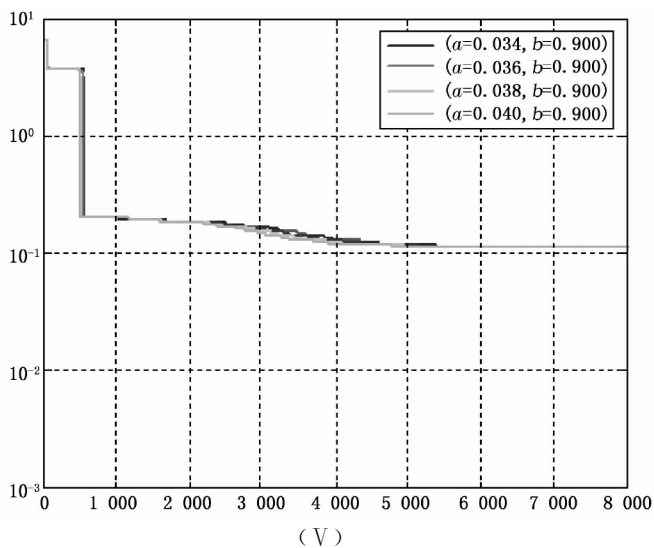


图 6.1 虾体分级机功能性结构设计劳动度量模型的误差曲线

表 6.4 虾体分级机功能性结构设计劳动度量模型的误差比较

图形	误差曲线	全局误差平方和	全局均方差	误差要求
图 I	曲线 1($a=0.026$, $b=0.700$)	0.113 4	0.012 6	$\epsilon < 0.012\ 5$
	曲线 2($a=0.028$, $b=0.700$)	0.112 7	0.012 5	$\epsilon < 0.012\ 5$
	曲线 3($a=0.030$, $b=0.700$)	0.112 4	0.012 5	$\epsilon < 0.012\ 5$
	曲线 4($a=0.032$, $b=0.700$)	0.112 3	0.012 5	$\epsilon < 0.012\ 5$
图 II	曲线 1($a=0.034$, $b=0.700$)	0.112 3	0.012 5	$\epsilon < 0.012\ 5$
	曲线 2($a=0.036$, $b=0.700$)	0.112 5	0.012 5	$\epsilon < 0.012\ 5$
	曲线 3($a=0.038$, $b=0.700$)	0.112 6	0.012 5	$\epsilon < 0.012\ 5$
	曲线 4($a=0.040$, $b=0.700$)	0.112 8	0.012 5	$\epsilon < 0.012\ 5$
图 III	曲线 1($a=0.042$, $b=0.700$)	0.113 1	0.012 6	$\epsilon < 0.012\ 5$
	曲线 2($a=0.044$, $b=0.700$)	0.113 3	0.012 6	$\epsilon < 0.012\ 5$
	曲线 3($a=0.046$, $b=0.700$)	0.113 6	0.012 6	$\epsilon < 0.012\ 5$
	曲线 4($a=0.048$, $b=0.700$)	0.113 9	0.012 7	$\epsilon < 0.012\ 5$
图 IV	曲线 1($a=0.026$, $b=0.900$)	0.112 8	0.012 5	$\epsilon < 0.012\ 5$
	曲线 2($a=0.028$, $b=0.900$)	0.112 6	0.012 5	$\epsilon < 0.012\ 5$
	曲线 3($a=0.030$, $b=0.900$)	0.112 6	0.012 5	$\epsilon < 0.012\ 5$
	曲线 4($a=0.032$, $b=0.900$)	0.112 8	0.012 5	$\epsilon < 0.012\ 5$

续表

图形	误差曲线	全局误差平方和	全局均方差	误差要求
图 V	曲线 1($a=0.034$, $b=0.900$)	0.113 0	0.012 6	$\epsilon<0.012 5$
	曲线 2($a=0.036$, $b=0.900$)	0.113 3	0.012 6	$\epsilon<0.012 5$
	曲线 3($a=0.038$, $b=0.900$)	0.113 5	0.012 6	$\epsilon<0.012 5$
	曲线 4($a=0.040$, $b=0.900$)	0.113 9	0.012 7	$\epsilon<0.012 5$
图 VI	曲线 1($a=0.042$, $b=0.900$)	0.114 2	0.012 7	$\epsilon<0.012 5$
	曲线 2($a=0.044$, $b=0.900$)	0.114 5	0.012 7	$\epsilon<0.012 5$
	曲线 3($a=0.046$, $b=0.900$)	0.114 8	0.012 8	$\epsilon<0.012 5$
	曲线 4($a=0.048$, $b=0.900$)	0.115 1	0.012 8	$\epsilon<0.012 5$

表 6.5 虾体分级机功能性结构设计劳动度量模型的应用示例

	模型输入值						模型输出值	
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	y_1	y_2
图 I 曲线 2	5.00	6.00	1.70	1.80	3.50	4.00	0.429 7	0.472 9
图 I 曲线 3	5.00	6.00	1.70	1.80	3.50	4.00	0.430 6	0.473 6
图 II 曲线 1	3.00	4.00	1.40	1.50	3.50	4.00	0.421 3	0.465 0
图 II 曲线 2	3.00	4.00	1.40	1.50	3.50	4.00	0.424 0	0.469 0
图 IV 曲线 1	5.00	6.00	1.40	1.50	3.90	4.20	0.431 5	0.474 6
图 IV 曲线 2	5.00	6.00	1.40	1.50	3.90	4.20	0.432 8	0.475 2

6.1.4 非功能性结构设计过程的劳动度量

6.1.4.1 操作的权重集

以虾体分级机设计为例,对该类设计对象的非功能性结构设计过程面向各操作做影响因素的两两比较,构造出两两比较判断矩阵 $G^{(l)}, l=1, 2, \dots, 9$, 然后利用特征方程, 计算 $w^{(1)}, w^{(2)}, \dots, w^{(9)}$ 等 9 个操作的权重集。书中列出 B_1 、 B_2 和 B_9 。

操作的权重集,如表 6.6、表 6.7 和表 6.8 所示。

表 6.6 B_1 操作的影响因素权重结构与权重集

B_1	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	
y_1	1	2	1	4	2	3	4	6	7	$\lambda_{\max}=9.665\ 5$ $CI=0.083\ 2$ $CR=0.057<0.10$ $RI=1.45$
y_2	1/2	1	1	3	3	5	3	5	6	
y_3	1	1	1	2	1	4	5	3	4	
y_4	1/4	1/3	1/2	1	1	4	5	4	5	
y_5	1/2	1/3	1	1	1	3	2	5	6	
y_6	1/3	1/5	1/4	1/4	1/3	1	2	3	4	
y_7	1/4	1/3	1/5	1/5	1/2	1/2	1	2	3	
y_8	1/6	1/5	1/3	1/4	1/5	1/3	1/2	1	2	
y_9	1/7	1/6	1/4	1/5	1/6	1/4	1/3	1/2	1	
$w^{(1)}$	0.23	0.20	0.17	0.12	0.12	0.06	0.05	0.03	0.02	

表 6.7 B_2 操作的影响因素权重结构与权重集

B_2	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	
y_1	1	2	4	3	4	5	6	7	8	$\lambda_{\max}=9.839\ 1$ $CI=0.104\ 9$ $CR=0.072<0.10$ $RI=1.45$
y_2	1/2	1	2	4	5	6	5	6	7	
y_3	1/4	1/2	1	2	4	3	3	5	6	
y_4	1/3	1/4	1/2	1	3	3	2	3	4	
y_5	1/4	1/5	1	1/3	1	1	1/2	2	2	
y_6	1/5	1/6	1/4	1/3	1	1	1/2	2	3	
y_7	1/6	1/5	1/5	1/2	2	2	1	3	4	
y_8	1/7	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1/3	1	2	
y_9	1/8	1/7	1/4	1/4	1/2	1/3	1/4	1/2	1	
$w^{(2)}$	0.29	0.23	0.14	0.10	0.06	0.05	0.07	0.04	0.02	

表 6.8

B₉ 操作的影响因素权重结构与权重集

B_9	y_{13}	y_{14}	y_{15}	y_{16}	y_{17}	y_{18}	y_{19}	y_{20}	y_{21}	
y_{13}	1	3	4	5	2	6	1/2	1/3	1/4	$\lambda_{\max}=9.648\ 7$ $CI=0.081\ 1$ $CR=0.056<0.10$ $RI=1.45$
y_{14}	1/3	1	2	3	1/2	4	1/4	1/5	1/6	
y_{15}	1/4	1/2	1	2	1/3	3	1/5	1/6	1/7	
y_{16}	1/5	1/3	1/2	1	1/4	2	1/6	1/7	1/8	
y_{17}	1/2	2	3	4	1	5	1/3	1/4	1/5	
y_{18}	1/6	1/4	1/3	2	1/5	1	1/7	1/8	1/9	
y_{19}	2	4	5	6	3	7	1	1/2	1/3	
y_{20}	3	5	6	7	4	8	2	1	1/2	
y_{21}	4	6	7	8	5	9	3	2	1	
$w^{(9)}$	0.11	0.05	0.04	0.03	0.08	0.02	0.15	0.22	0.30	

假设评语集 $V=(\text{复杂}, \text{中等}, \text{简单})$, 基于该评语集对操作的影响因素属性进行模糊综合评判, 可以得到 $R^{(1)}, R^{(2)}, \dots, R^{(9)}$ 等 9 个模糊评判矩阵, 然后利用模糊综合评判的方法, 计算出操作的属性 $c_1^{(s)}, c_2^{(s)}, \dots, c_9^{(s)}$, 对 10 个非功能性结构设计过程样本进行模糊综合评判和抽样测时, 可以得到 10 对训练样本, 表 6.9 为采集的样本对值, 其中, t 的值按实际值的 1% 计算; 表 6.10 为学习速率和惯性系数 (a, b) 的组合数据, 选取 $\epsilon \leq 0.000\ 5$, 采用给定的学习算法, 训练网络。

表 6.9

虾体分级机非功能性结构设计的样本

s	输入集					输出集				
	$c_s^{(1)}$	$c_s^{(2)}$	$c_s^{(3)}$	$c_s^{(4)}$	$c_s^{(5)}$	$c_s^{(6)}$	$c_s^{(7)}$	$c_s^{(8)}$	$c_s^{(9)}$	ts
1	0.20	0.40	0.14	0.15	0.35	0.40	0.44	0.45	0.44	0.48
2	0.30	0.50	0.14	0.15	0.40	0.45	0.46	0.48	0.45	0.52
3	0.40	0.55	0.15	0.16	0.46	0.47	0.50	0.54	0.56	0.60
4	0.45	0.55	0.16	0.17	0.48	0.50	0.56	0.58	0.57	0.64
5	0.50	0.60	0.17	0.19	0.52	0.57	0.60	0.62	0.65	0.68
6	0.60	0.65	0.17	0.20	0.53	0.59	0.64	0.65	0.67	0.70

续表

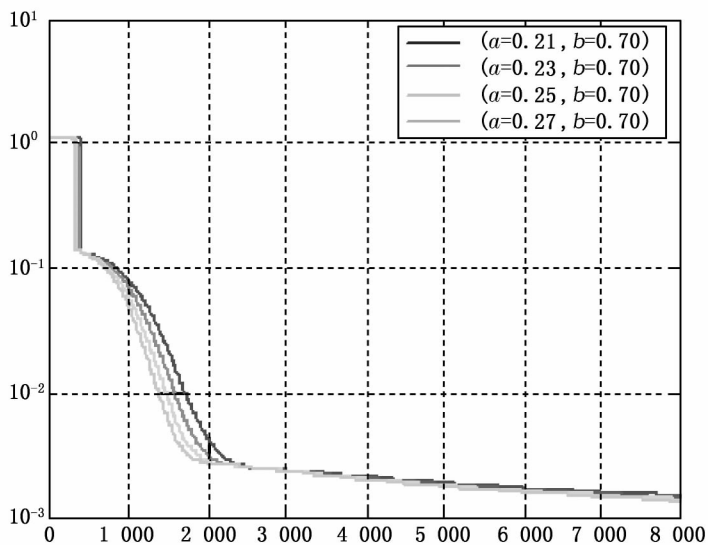
输入集						输出集				
s	$c_s^{(1)}$	$c_s^{(2)}$	$c_s^{(3)}$	$c_s^{(4)}$	$c_s^{(5)}$	$c_s^{(6)}$	$c_s^{(7)}$	$c_s^{(8)}$	$c_s^{(9)}$	ts
7	0.65	0.68	0.18	0.25	0.54	0.60	0.66	0.67	0.68	0.74
8	0.66	0.70	0.20	0.28	0.57	0.62	0.68	0.70	0.74	0.77
9	0.70	0.74	0.23	0.29	0.60	0.66	0.70	0.75	0.76	0.80
10	0.74	0.75	0.24	0.30	0.64	0.67	0.72	0.80	0.80	0.84

表 6.10 学习速率 a 和惯性系数 b 的选取

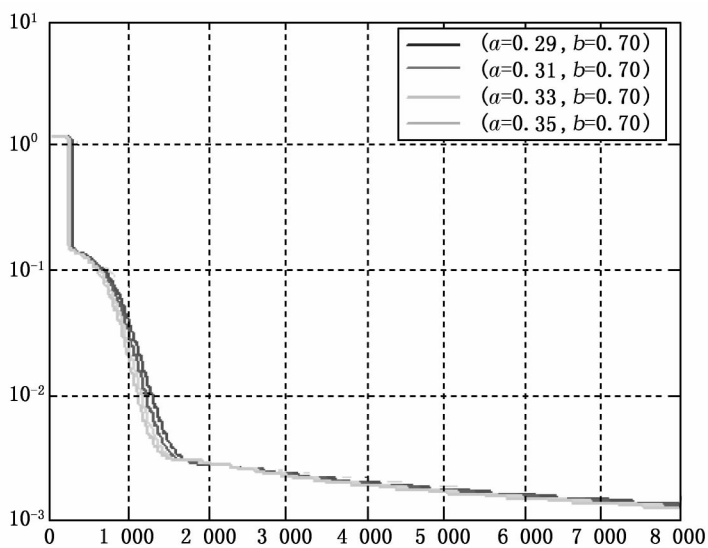
		惯性系数					
		第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组	第 5 组	第 6 组
		$b=0.70$	$b=0.70$	$b=0.70$	$b=0.90$	$b=0.90$	$b=0.90$
学习 速率	a	0.21	0.29	0.37	0.21	0.29	0.37
		0.23	0.31	0.39	0.23	0.31	0.39
		0.25	0.33	0.41	0.25	0.33	0.41
		0.27	0.35	0.43	0.27	0.35	0.43

6.1.4.2 仿真试验结果与结论

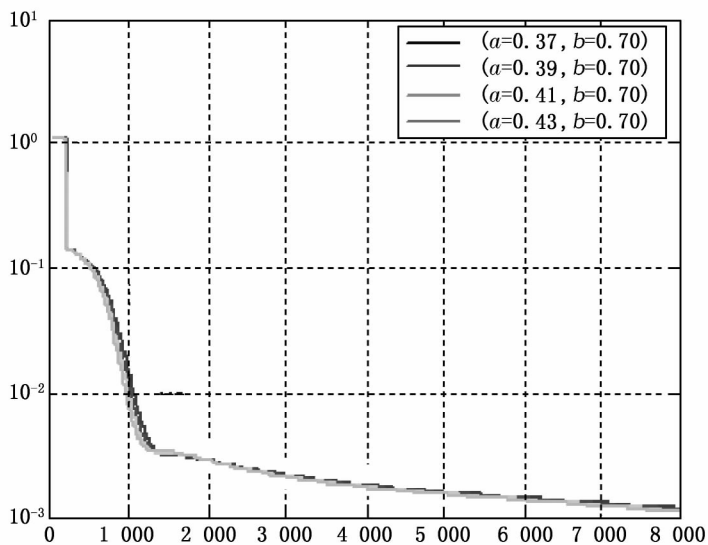
基于 MATLAB5.2 编制了相应的计算机实现程序,分别在学习速率和惯性系数的多种参数组合状态下,对神经网络进行了 8 000 次训练,得到了虾体分级机非功能性结构设计的劳动度量模型。模型的误差曲线,如图 6.2 所示,其中纵轴为全局样本误差平方和 E ,横轴为训练次数 i 。



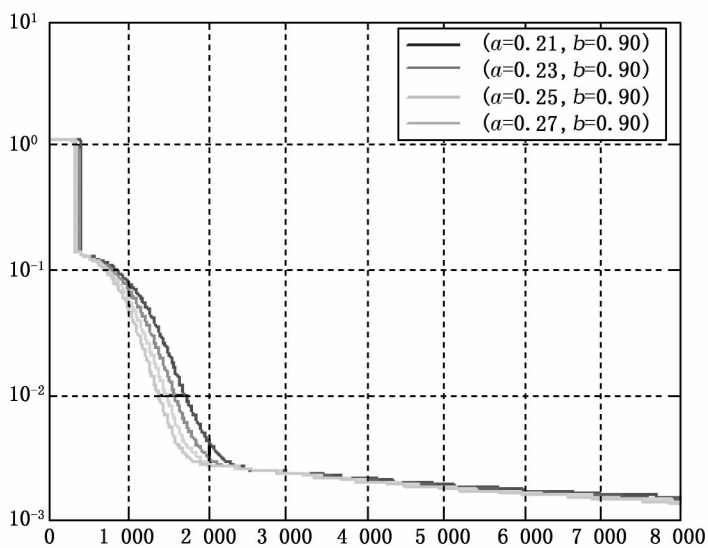
(I)



(II)



(III)



(IV)

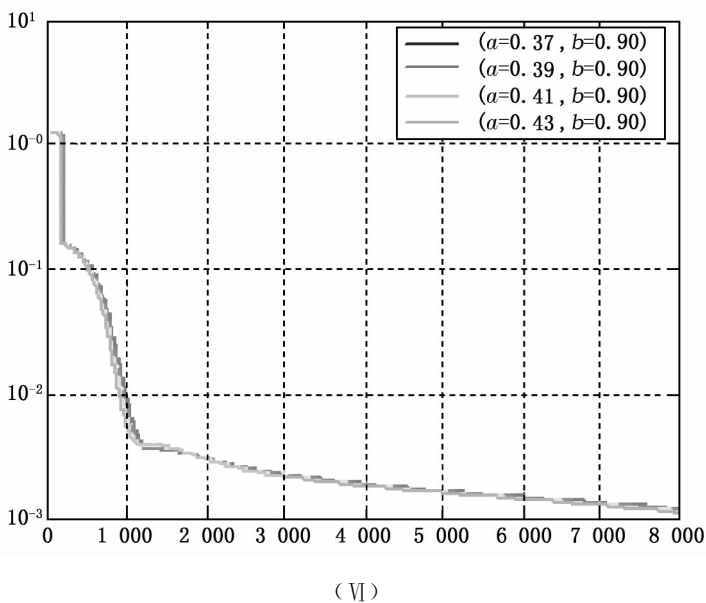
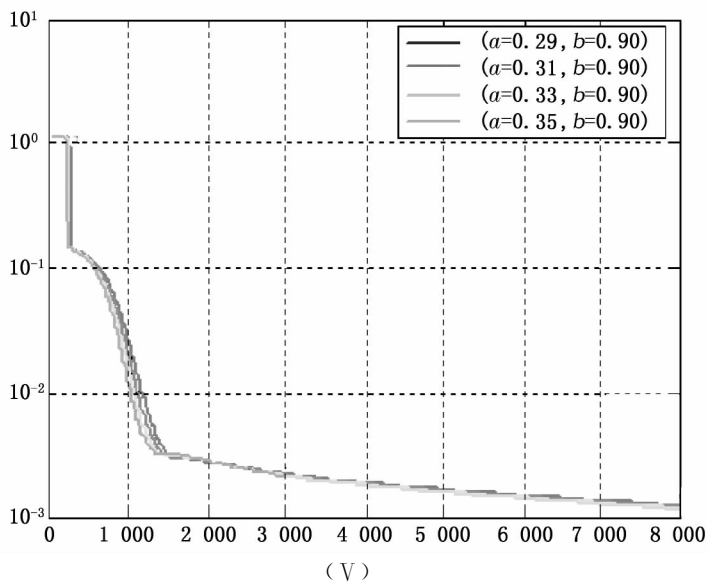


图 6.2 虾体分级机非功能性结构设计劳动度量模型的误差曲线

试验结果表明,度量模型的误差对大多数参数的组合状态具有一致性,且在多种参数的组合状态下,模型的误差可以达到规定的要求,说明模型的泛化性强。

表 6.11 给出虾体分级机非功能性结构设计劳动度量模型的误差比较分析。

表 6.11 虾体分级机非功能性结构设计劳动量测算模型的误差比较

图形	误差曲线	全局误差平方和	全局均方差	误差要求
图 I	曲线 1($a=0.21$, $b=0.70$)	0.001 5	0.000 2	$\epsilon \leq 0.000 5$
	曲线 2($a=0.23$, $b=0.70$)	0.001 4	0.000 2	$\epsilon \leq 0.000 5$
	曲线 3($a=0.25$, $b=0.70$)	0.001 4	0.000 2	$\epsilon \leq 0.000 5$
	曲线 4($a=0.27$, $b=0.70$)	0.001 4	0.000 2	$\epsilon \leq 0.000 5$
图 II	曲线 1($a=0.29$, $b=0.70$)	0.001 3	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000 5$
	曲线 2($a=0.31$, $b=0.70$)	0.001 3	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000 5$
	曲线 3($a=0.33$, $b=0.70$)	0.001 2	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000 5$
	曲线 4($a=0.35$, $b=0.70$)	0.001 2	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000 5$
图 III	曲线 1($a=0.37$, $b=0.70$)	0.001 2	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000 5$
	曲线 2($a=0.39$, $b=0.70$)	0.001 2	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000 5$
	曲线 3($a=0.41$, $b=0.70$)	0.001 1	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000 5$
	曲线 4($a=0.43$, $b=0.70$)	0.001 1	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000 5$

续表

图形	误差曲线	全局误差平方和	全局均方差	误差要求
图 IV	曲线 1($a=0.21$, $b=0.90$)	0.001 4	0.000 2	$\epsilon \leq 0.000\ 5$
	曲线 2($a=0.23$, $b=0.90$)	0.001 4	0.000 2	$\epsilon \leq 0.000\ 5$
	曲线 3($a=0.25$, $b=0.90$)	0.001 3	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000\ 5$
	曲线 4($a=0.27$, $b=0.90$)	0.001 3	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000\ 5$
图 V	曲线 1($a=0.29$, $b=0.90$)	0.001 3	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000\ 5$
	曲线 2($a=0.31$, $b=0.90$)	0.001 2	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000\ 5$
	曲线 3($a=0.33$, $b=0.90$)	0.001 2	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000\ 5$
	曲线 4($a=0.35$, $b=0.90$)	0.001 2	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000\ 5$
图 VI	曲线 1($a=0.37$, $b=0.90$)	0.001 1	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000\ 5$
	曲线 2($a=0.39$, $b=0.90$)	0.001 1	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000\ 5$
	曲线 3($a=0.41$, $b=0.90$)	0.001 1	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000\ 5$
	曲线 4($a=0.43$, $b=0.90$)	0.001 1	0.000 1	$\epsilon \leq 0.000\ 5$

表 6.12 做出一个样本(0.20 0.40 0.14 0.15 0.35 0.40 0.44 0.45 0.44)进行模型稳定性检验,检验结果表明,度量模型的稳定性好。在此基础上,确认满足误差要求的度量模型,附录列出了选定的一些度量模型权重值。

表 6.13 选择满足误差要求的模型,给出应用示例。

表 6.12 虾体分级机非功能性结构设计劳动度量模型的稳定性检验

	输入值									输出值	期望值	误差
	$c_1^{(1)}$	$c_1^{(2)}$	$c_1^{(3)}$	$c_1^{(4)}$	$c_1^{(5)}$	$c_1^{(6)}$	$c_1^{(7)}$	$c_1^{(8)}$	$c_1^{(9)}$	y	t	$(t-y)^2$
图 I 曲线 2	0.20	0.40	0.14	0.15	0.35	0.40	0.44	0.45	0.44	0.479 6	0.48	0.000 0
图 II 曲线 1	0.20	0.40	0.14	0.15	0.35	0.40	0.44	0.45	0.44	0.482 5	0.48	0.000 0
图 III 曲线 3	0.20	0.40	0.14	0.15	0.35	0.40	0.44	0.45	0.44	0.486 6	0.48	0.000 0
图 IV 曲线 3	0.20	0.40	0.14	0.15	0.35	0.40	0.44	0.45	0.44	0.482 1	0.48	0.000 0
图 V 曲线 1	0.20	0.40	0.14	0.15	0.35	0.40	0.44	0.45	0.44	0.483 9	0.48	0.000 0
图 VI 曲线 4	0.20	0.40	0.14	0.15	0.35	0.40	0.44	0.45	0.44	0.488 2	0.48	0.000 0

表 6.13 虾体分级机非功能性结构设计劳动度量模型的应用示例

	输入值									输出值
	$c_1^{(1)}$	$c_1^{(2)}$	$c_1^{(3)}$	$c_1^{(4)}$	$c_1^{(5)}$	$c_1^{(6)}$	$c_1^{(7)}$	$c_1^{(8)}$	$c_1^{(9)}$	y
图 I 曲线 2	0.30	0.50	0.14	0.15	0.35	0.40	0.44	0.45	0.44	0.521 7
图 II 曲线 1	0.30	0.50	0.14	0.15	0.35	0.40	0.44	0.45	0.44	0.519 7
图 III 曲线 3	0.20	0.40	0.14	0.15	0.38	0.44	0.44	0.45	0.44	0.486 9
图 IV 曲线 3	0.20	0.40	0.14	0.15	0.38	0.44	0.44	0.45	0.44	0.485 1
图 V 曲线 1	0.20	0.40	0.17	0.19	0.35	0.40	0.44	0.45	0.44	0.506 7
图 VI 曲线 4	0.20	0.40	0.17	0.19	0.35	0.40	0.44	0.45	0.44	0.504 9

6.2 面向对象基于知识处理的工程设计劳动度量模型应用

6.2.1 案例说明

有一项设计椅子的任务,该椅子在公共场所使用,要求功能舒适且牢固。

参照已有文献,本书给出一个用于椅子类设计,包括 5 项功能要求、5 个设计约束、7 种使用范围的知识表示结构模型。5 项功能为:能调节($\underline{y}_1$)、能移动($\underline{y}_2$)、能折叠($\underline{y}_3$)、牢固($\underline{y}_4$)、可堆放($\underline{y}_5$);5 个设计约束为:价格($\underline{y}_6$)、尺寸($\underline{y}_7$)、重量($\underline{y}_8$)、舒服($\underline{y}_9$)、美观($\underline{y}_{10}$);7 种使用范围为:餐厅用($\underline{y}_{11}$)、办公用($\underline{y}_{12}$)、休息用($\underline{y}_{13}$)、家庭用($\underline{y}_{14}$)、教室用($\underline{y}_{15}$)、公共场所用($\underline{y}_{16}$)、打字用($\underline{y}_{17}$)。椅子类设计对象的知识表示结构模型为:

$$r_{\sim}^{(s)} = \left(\frac{a_1^{(s)}}{\underline{y}_1}, \dots, \frac{a_5^{(s)}}{\underline{y}_5}, \frac{b_1^{(s)}}{\underline{y}_6}, \dots, \frac{b_5^{(s)}}{\underline{y}_{10}}, \frac{c_1^{(s)}}{\underline{y}_{11}}, \dots, \frac{c_7^{(s)}}{\underline{y}_{17}} \right)$$

6.2.2 训练样本及学习速率、惯性系数的获取

度量人员通过对椅子类设计对象进行模糊综合评价和测时,得到 10 组样本的知识评判值和相应的设计过程时间值,即 10 组学习样本($\underline{r}^{(s)}, T_d^{(s)}$),然后,采用上述的学习算法使网络学习采用模拟的方法给出,训练样本如表 6.14 所示。

表 6.14 椅子类设计的样本

	$r_{\sim}^{(s)}$																	$T_d^{(s)}$
	$a_1^{(s)}$	...	$a_5^{(s)}$	$b_1^{(s)}$	...	$b_5^{(s)}$	$c_1^{(s)}$	...	$c_7^{(s)}$									
1	0.8	0.6	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.0	0.0	0.8	0.8	0.86
2	1.0	1.0	0.7	0.3	0.9	0.7	0.5	0.3	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	1.0	0.97

续表

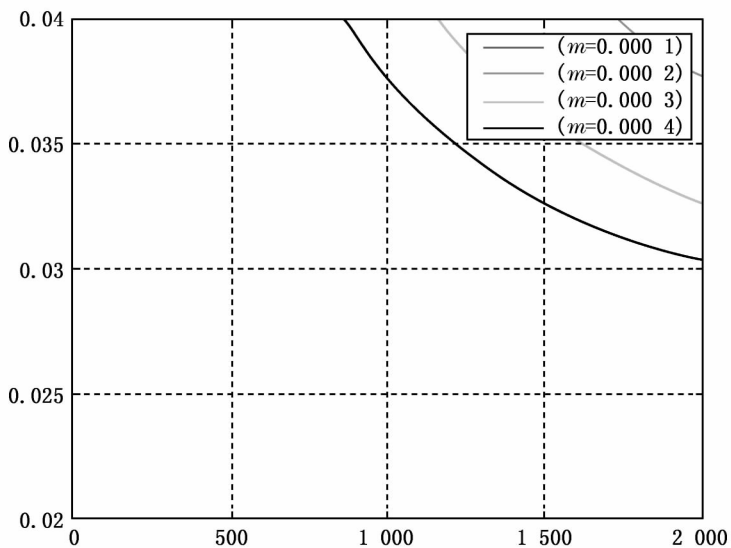
	$r_{\sim}^{(s)}$															$T_d^{(s)}$		
	$a_1^{(s)}$	...	$a_5^{(s)}$	$b_1^{(s)}$	...	$b_5^{(s)}$	$c_1^{(s)}$	...	$c_7^{(s)}$									
3	0.9	1.0	0.9	0.2	1.0	0.4	0.5	0.4	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.9	0.94	
4	0.8	0.9	0.9	0.2	1.0	0.3	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.0	0.90
5	0.1	1.0	1.0	0.1	0.7	0.3	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.88
6	0.0	0.0	1.0	0.2	0.6	0.2	0.5	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.4	0.1	0.86
7	0.0	1.0	0.9	0.1	0.6	0.2	0.5	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.4	0.2	0.87
8	0.9	0.2	0.9	0.6	0.9	0.6	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.4	0.8	0.92
9	1.0	1.0	0.8	0.5	1.0	0.8	0.6	0.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.9	0.99
10	0.1	0.2	1.0	0.3	0.3	0.1	0.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.2	0.2	0.67

6.2.3 仿真试验结果与结论

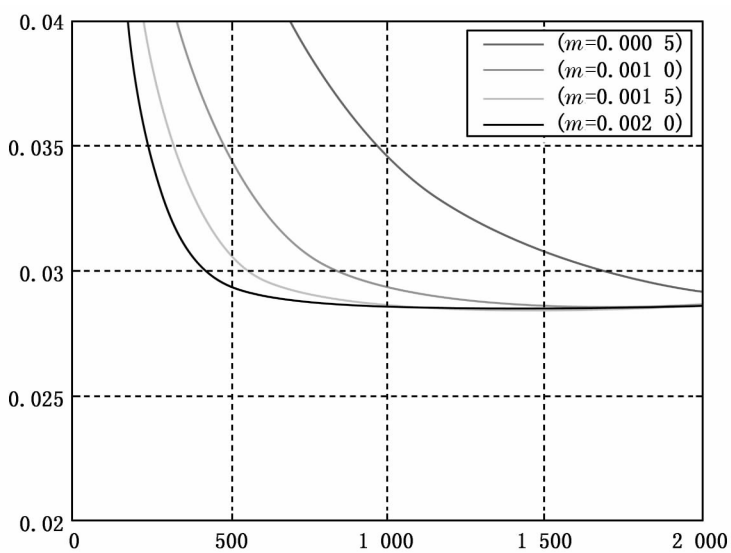
选取 $\epsilon \leq 0.005$, 分别以表 6.15 中的 m 值作为学习速率, 采用具有自适应优化特性的模糊学习算法, 对神经网络进行 2 000 次训练, 可以得到以神经网络表示的椅子类设计的劳动度量模型。模型的误差曲线, 如图 6.3 所示。

表 6.15 学习速率 m 值的选取

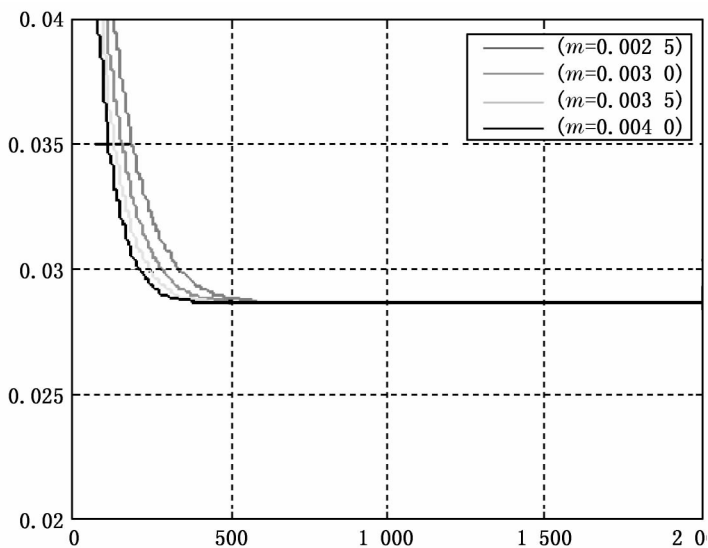
参 数	第 1 组	第 2 组	第 3 组	第 4 组	第 5 组	第 6 组
m	0.000 1	0.000 5	0.002 5	0.004 5	0.006 5	0.008 5
	0.000 2	0.001 0	0.003 0	0.005 0	0.007 0	0.009 0
	0.000 3	0.001 5	0.003 5	0.005 5	0.007 5	0.009 5
	0.000 4	0.002 0	0.004 0	0.006 0	0.008 0	0.010 0



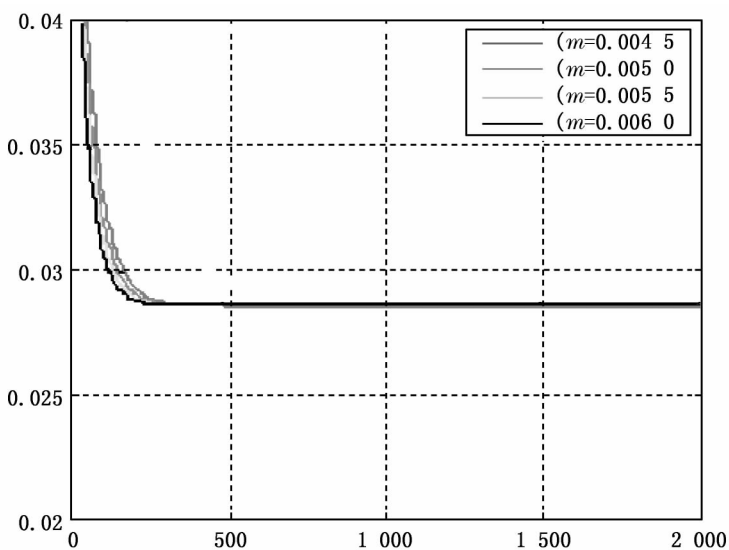
(I)



(II)



(III)



(IV)

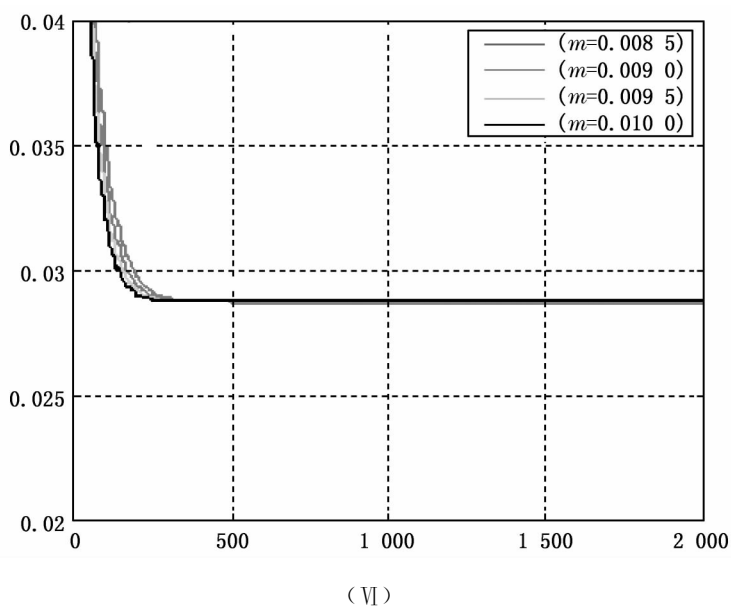
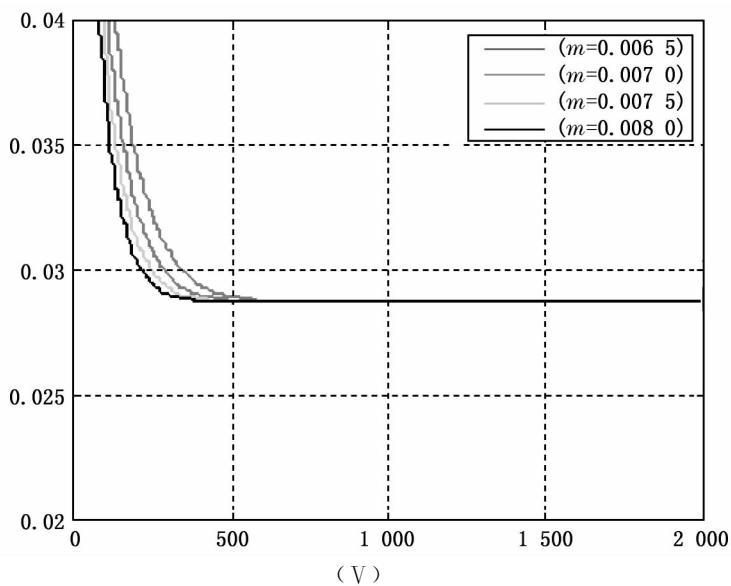


图 6.3 椅子类设计劳动度量模型的误差曲线

结果表明,该算法具有收敛性,度量模型对参数具有很好的泛化性和普适性,对学习速率敏感,且随着学习速率的增加,模型收敛速度加快。附录列出选定的一些度量模型权重值。

表 6.16 给出模型的误差性能比较。

表 6.16 椅子类设计劳动量测算模型的误差比较

	误差曲线	全局误差平方和	全局均方差	误差要求
图 I	曲线 1($m=0.000\ 1$)	0.049 1	0.005 5	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 2($m=0.000\ 2$)	0.037 7	0.004 2	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 3($m=0.000\ 3$)	0.032 6	0.003 6	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 4($m=0.000\ 4$)	0.030 4	0.003 4	$\epsilon \leq 0.005$
图 II	曲线 1($m=0.000\ 5$)	0.029 4	0.003 3	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 2($m=0.001\ 0$)	0.028 6	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 3($m=0.001\ 5$)	0.028 6	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 4($m=0.002\ 0$)	0.028 6	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
图 III	曲线 1($m=0.002\ 5$)	0.028 6	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 2($m=0.003\ 0$)	0.028 6	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 3($m=0.003\ 5$)	0.028 6	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 4($m=0.004\ 0$)	0.028 6	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
图 IV	曲线 1($m=0.004\ 5$)	0.028 6	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 2($m=0.005\ 0$)	0.028 7	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 3($m=0.005\ 5$)	0.028 7	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 4($m=0.006\ 0$)	0.028 7	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
图 V	曲线 1($m=0.006\ 5$)	0.028 7	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 2($m=0.007\ 0$)	0.028 7	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 3($m=0.007\ 5$)	0.028 7	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$
	曲线 4($m=0.008\ 0$)	0.028 7	0.003 2	$\epsilon \leq 0.005$

续表

	误差曲线	全局误差平方和	全局均方差	误差要求
图 VI	曲线 1($m=0.008\ 5$)	0.028 8	0.003 2	$\epsilon\leqslant 0.005$
	曲线 2($m=0.009\ 0$)	0.028 8	0.003 2	$\epsilon\leqslant 0.005$
	曲线 3($m=0.009\ 5$)	0.028 8	0.003 2	$\epsilon\leqslant 0.005$
	曲线 4($m=0.010\ 0$)	0.028 8	0.003 2	$\epsilon\leqslant 0.005$

表 6.17 给出模型的稳定性检验。

表 6.17 椅子类设计劳动度量模型的稳定性检验

	输入值													输出值	期望值	误差				
	$a_1^{(i)}$	...	$a_5^{(i)}$	$b_1^{(i)}$	...	$b_5^{(i)}$	$c_1^{(i)}$	...	$c_7^{(i)}$					y	t	$(t-y)^2$				
图 I 曲线 4	0.8	0.6	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.0	0.0	0.8	0.8	0.8	0.909 0	0.86	0.002 4
图 II 曲线 2	0.8	0.6	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.0	0.0	0.8	0.8	0.8	0.906 2	0.86	0.002 1
图 III 曲线 1	0.8	0.6	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.0	0.0	0.8	0.8	0.8	0.906 0	0.86	0.002 1
图 IV 曲线 3	0.8	0.6	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.0	0.0	0.8	0.8	0.8	0.906 1	0.86	0.002 1
图 V 曲线 2	0.8	0.6	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.0	0.0	0.8	0.8	0.8	0.905 9	0.86	0.002 1
图 VI 曲线 2	0.8	0.6	0.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.0	0.0	0.8	0.8	0.8	0.906 1	0.86	0.002 1

表 6.18 给出案例所提出的设计对象,其模糊评判值为(0.5 0.0 0.2 1.0 0.8 0.6 0.6 0.5 1.0 0.8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1.0 0.0)应用模型计算的示例。

表 6.18 椅子类设计劳动度量模型的应用示例

	输入值																	输出值
	$a_1^{(s)}$	...	$a_5^{(s)}$	$b_1^{(s)}$	...	$b_5^{(s)}$	$c_1^{(s)}$	...	$c_7^{(s)}$	y								
图 I	0.5	0.0	0.2	1.0	0.8	0.6	0.6	0.5	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.802 1
图 II	0.5	0.0	0.2	1.0	0.8	0.6	0.6	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.802 0
图 III	0.5	0.0	0.2	1.0	0.8	0.6	0.6	0.5	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.801 7

续表																		
	输入值																	输出值
	$a_1^{(j)}$	...	$a_5^{(j)}$	$b_1^{(j)}$	...	$b_5^{(j)}$	$c_1^{(j)}$	...	$c_7^{(j)}$	y								
图 IV	0.5	0.0	0.2	1.0	0.8	0.6	0.6	0.5	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.802 1
图 V	0.5	0.0	0.2	1.0	0.8	0.6	0.6	0.5	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.802 1
图 VI	0.5	0.0	0.2	1.0	0.8	0.6	0.6	0.5	1.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.801 8

网络训练完成后,得到了椅子类基于知识处理的设计劳动量测算模型,对一项具体的椅子设计对象 k ,首先给出其知识评判值,即 $a_i^{(k)}$, $i=1,2,\cdots,17$,然后输入网络,则可以测算出该椅子设计的劳动量 $T_0^{(k)}$ 。

7 知识劳动度量系统

7.1 知识劳动度量系统概述

7.1.1 知识劳动度量系统设计的意义

知识劳动度量理论、方法与模型的建立,为解决知识劳动度量问题,提供了科学的理论依据和可操作的系列度量方法。然而,若以手工方式进行劳动度量,不可避免地存在着度量速度慢、准确性差,模型修正、更新、添加困难等问题,难以满足现代企业生产的客观需要,特别是多品种、小批量生产企业,产品变化快、生产周期短,劳动度量与管理工作复杂,内容繁多,对劳动度量的质量、速度和水平有着更严格的要求。因此,改变手工劳动度量模式,建立面向知识劳动度量的系统,实现知识劳动度量工作的自动化,具有重要的实际意义。

本章将应用已建立的面向知识劳动对象的劳动度量理论、方法与模型,研究面向知识劳动度量的系统,给出劳动度量系统中样本采集子系统、度量模型与度量模型数据库建立子系统和度量子系统的组成与结构及各子系统之间的相互关系,为高效、准确、便捷地进行知识劳动度量,提高度量工作的效率和效益奠定基础。

7.1.2 知识劳动度量系统建立的思想

7.1.2.1 知识劳动度量理论的应用

根据面向知识劳动对象的劳动度量理论,知识劳动是多种多样的,同一种知识劳动又有多类不同的劳动对象,每类劳动对象在描述的范围、描述的特征内容和描述的层次上,既存在着“质”上的相似性,又存在着“量”上的差别,这种“质”的相似性,可以采用一种知识表示结构模型来描述,使一类劳动对象对应于一个知识表示结构模型;而“量”上的不同,可以采用知识表示结构模型中,模糊变量的数值来描述,以模糊综合评判的方法给出,进而,通过应用模糊神经网络的联想映射功能,就可以建立劳动对象“量”上的变化与劳动量之间的对应关系,即劳动度量模型。

7.1.2.2 知识劳动度量系统设计的思想

基于该理论,首先应用模糊谓词逻辑,以不同的知识表示结构模型,描述不同类型的劳动对象,通过模糊综合评判方法,给出每类劳动对象若干劳动过程样本的评判值,作为劳动度量模型的输入集,采用 WSS 等技术,在标准测算条件下,测定基于规定速度和努力程度下的样本时间值,或将常规条件下的实测值,在速度和努力程度评定的基础上,转换为规定速度和努力程度下的时间值,将时间值作为劳动度量模型的输出集。

其次,应用面向对象的劳动度量方法,采用已建立的具有自适应优化特性的模糊逻辑学习算法,训练相应的模糊联想记忆神经网络,建立面向知识劳动对象的劳动度量模型,进而建立劳动度量模型的数据库。在劳动度量时,通过知识表示结构模型,搜索、查询与之相对应的劳动度量模型,借助知识表示结构模型中各模糊变量的评判值,进行劳动度量的计算,使度量系统输出相应的劳动量,实现对一个具体对象进行劳动度量的目的。

7.2 度量系统的组成与结构

7.2.1 知识劳动度量系统的组成

基于系统建立的思想,度量系统应由训练样本采集子系统、度量模型和度量模型数据库建立子系统、劳动度量子系统三部分组成。

第一个子系统主要为建立度量模型提供训练样本,包括知识表示结构模型的建立,样本输入集和输出集的获取。

第二个子系统则使用已采集的样本,应用已建立的模糊逻辑学习算法对神经网络进行训练,建立劳动度量模型,并建立度量模型的数据库。

第三个子系统的功能是对待度量的对象,以其知识表示结构模型,寻找与知识表示结构模型相对应的度量模型,并以知识表示结构模型中的模糊变量数值,作为度量模型的输入,使度量模型输出相应的劳动量。在度量时,若度量结果不能满足实际要求,系统便从度量子系统返回模型建立子系统,修改度量模型;若度量模型库中无相应的度量模型,则要从度量子系统返回样本采集子系统,采集样本数据,建立度量模型,并存贮在度量模型库中。

度量系统的组成如图 7.1 所示。

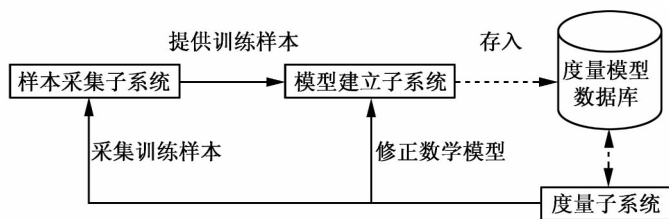


图 7.1 度量系统的组成与结构

7.2.2 样本采集子系统

知识劳动过程中有诸多不确定性因素对劳动量产生影响,为消除不确定性因素的影响,首先要选定这些因素并使之标准化,使样本数据的采集及劳动度量模型的建立在标准度量条件下完成。对实际劳动条件的影响,可利用系数对标准条件下的劳动量进行修正的方法来实现。

不确定性因素有两类:劳动者个体因素和劳动环境因素。

劳动者个体因素如劳动者学历、职称、年龄、专业工作年限等。

劳动环境因素包括工作地空间布置条件和工作地环境条件,前者如工作台、工作椅尺寸与位置、工具摆放等,后者如噪声、照明、色彩等。

对知识劳动的每类劳动对象,根据劳动对象的不确定性和模糊性的特点,采用模糊谓词逻辑的知识表示方法,首先建立劳动对象的单一知识元,然后,应用语气算子、模糊化算子、量词运算、逻辑连接词运算等,建立劳动对象的模糊谓词知识表示结构模型。

将已确定的知识表示结构模型存贮在知识表示结构模型库中。知识表示结构模型库中的知识表示结构模型与度量模型库中的度量模型和劳动量库中的劳动量应相互对应、匹配,以便查询和搜索。

根据劳动对象的知识表示结构模型,选择该类对象的若干样本,采用模糊综合评判方法,给出这些样本的模糊变量分值,并将其作为网络模型训练的输入集。然后,在标准测算条件下,应用 WSS 技术,测定基于标准测算条件下的样本时间值,并利用测时的速度和努力程度评定技术,将实测时间换算成规定速度和努力程度下的时间,作为网络模型训练的期望输出集。

样本采集子系统的结构如图 7.2 所示。

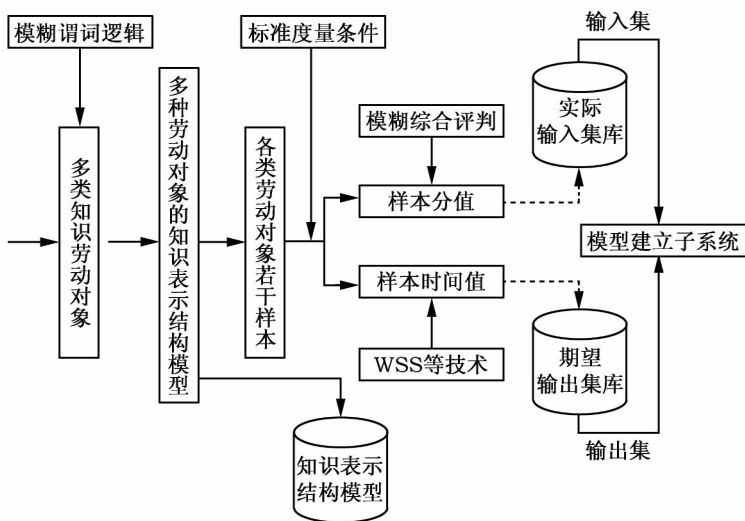


图 7.2 样本采集子系统的结构

7.2.3 度量模型及模型数据库建立子系统

7.2.3.1 劳动度量模型的建立

分别应用每类知识对象的样本输入与输出集,对相应的模糊联想记忆神经网络进行训练,采用基于梯度搜索技术的模糊逻辑学习算法,反向调整权矩阵,使网络的实际输出与期望输出的均方差最小,建立每类知识对象的劳动度量模型,在对度量模型进行稳定性检验和误差比较分析的基础上,选择满足误差要求的度量模型。

7.2.3.2 度量模型的数据库

在完成劳动度量模型的基础上,建立度量模型的数据库。图 7.3 是度量模型与度量模型数据库建立子系统的结构。

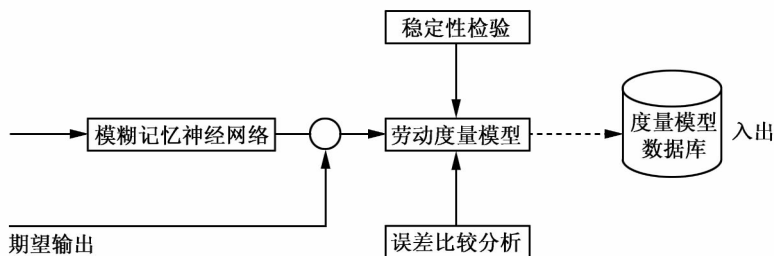


图 7.3 度量模型与度量模型数据库建立子系统的结构

7.2.4 度量子系统

度量子系统(如图 7.4 所示)按下述思路建立:

① 信息的输入

对于待度量的劳动对象,评定其知识表示结构模型中的模糊变量值,然后输入度量子系统。

② 信息的识别与劳动量搜索

输入的对象信息,经结构特征识别后,向对象的知识表示结构模型库,查询有无该类劳动对象的知识表示结构模型,若有知识表示结构模型,则向劳动量库搜索、查询与输入对象信息的数量相对应的劳动量,若有对应的劳动量,则从修正系数库中选取相应的度量条件修正系数,经系数修正后输出。

③ 劳动度量的计算

若有该对象的知识表示结构模型,但无与其数量对应的劳动量,则要向度量模型库查询有无该输入对象对应的度量模型;若有对应的模型,则计算该输入的劳动量,并判断是否满足实际要求;若满足,则从修正系数库中选取相应的度量条件修正系数,经系数修正后直接输出,不满足实际要求,则返回到模型建立子系统,修改模型,并重新输入。

④ 度量模型库的更新

若无对应的度量模型,则返回样本采集子系统,采集样本和训练

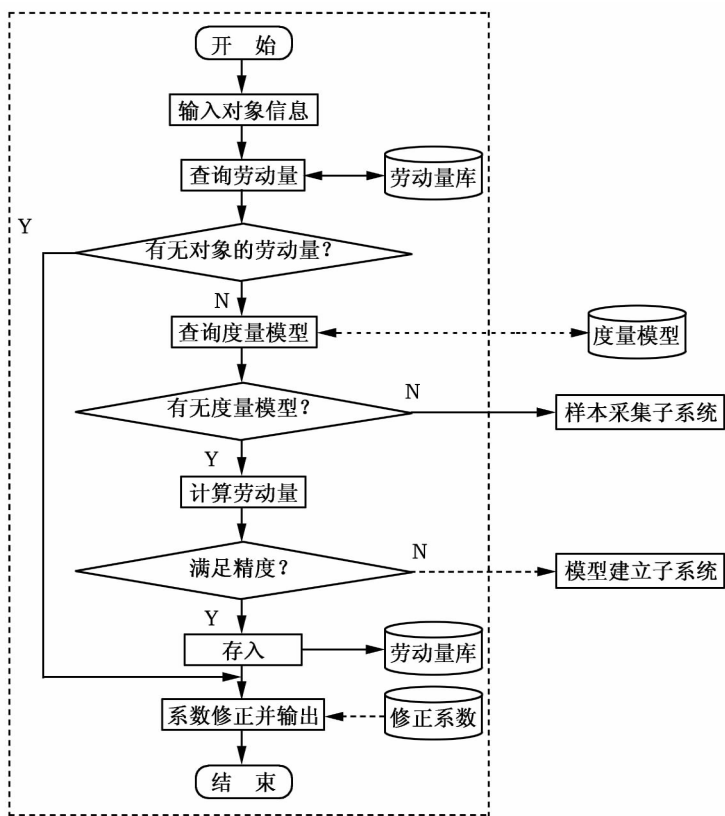


图 7.4 度量子系统的结构

网络,建立度量模型,并存储到度量模型库中。

⑤ 知识表示结构模型库的更新

若无该输入对象的知识表示结构模型,则返回到样本采集子系统,收集样本数据,建立相应的劳动度量模型,同时,将该输入对象的知识表示结构模型存储到知识表示结构模型库中,以备下次查询。

7.2.5 度量系统的特点

度量系统的设计,考虑了以下因素:

① 系统的自扩展性

在度量时,若系统中无相应的度量模型,系统应能自扩展,即返回到样本采集子系统,收集样本数据,并建立相应的度量模型,使模型的添加方便。

② 系统的自优化性

若度量模型计算出的劳动量,不能满足实际的精度要求,系统可对模型进行修正和优化。

8 结束语

8.1 知识劳动度量理论与方法的特点

8.1.1 知识劳动度量理论与方法的特点

脑力劳动度量理论与方法研究,不仅具有重要的理论意义和学术价值,而且有着广阔的应用前景。本书在全面评述国内外已有相关研究成果的基础上,选择知识劳动作为研究的突破口,基于知识劳动过程及其三要素的基本特性,通过引入新原理、新方法和新技术,建立了面向过程基于知识数量的、面向对象基于知识处理的知识劳动度量理论与方法,并以工程设计劳动为例,做出理论、方法的应用分析。

8.1.2 本书所做的尝试

8.1.2.1 在劳动度量理论研究方面

(1) 劳动度量的尺度及原理

在劳动度量的理论研究中,对劳动度量的尺度,进行了系统分析,基于劳动的流动形态、凝固形态和这两种形态都与岗位劳动有关的特点,给出劳动度量的三类尺度,即劳动时间尺度、劳动成果尺度

和因素综合尺度,基于三类度量尺度,对劳动度量的三个原理,进行了系统地分析和阐述。

(2) 劳动度量的途径

根据劳动过程的三要素,提出劳动度量理论建立的基础不仅仅是劳动过程,还可以从劳动对象出发,通过研究劳动对象的特性与描述方法,建立面向对象的劳动度量理论。

在面向过程基于知识数量的劳动度量研究中,提出劳动度量的依据是劳动过程的知识点,并根据知识点,来寻找劳动量的影响因素。

在面向对象基于知识处理的劳动度量研究中,提出通过建立劳动过程的知识处理系统,研究劳动过程的知识处理机制和劳动对象的知识性,来建立面向对象基于知识处理的劳动度量模型。

8.1.2.2 在劳动度量方法研究方面

(1) 简化和分解的观点

为了解决知识劳动过程的多样性和复杂性对劳动度量所带来的影响,提出通过应用树形图原理等方法,来抽象、分解和简化知识劳动过程,减少和降低知识劳动过程的多样性和复杂性。

(2) 知识劳动的知识处理特性

认为知识劳动是一个基于知识的求解过程,是一个知识处理系统,系统的输入和输出是具有不确定性特点的知识。

(3) 知识劳动对象的特性

研究了知识劳动对象的知识特性,认为一类知识劳动中的同类劳动对象,具有“质”上的类同性和“量”上的差异性。

8.1.2.3 在劳动度量理论与方法的应用研究方面

(1) 工程设计过程的工作转换模型

基于设计系统方法论和设计系统模型,提出产品设计过程的工作转换模型,并对模型中的工作步和操作及其影响因素进行抽象、简化和筛选,提出并确定了产品设计过程的劳动量影响因素为功能数 N 、各功能所隶属的平均基本功能单元数 M 和各基本功能单元所隶属的平均技术原理链数 L 。

(2) 工程设计对象的知识表示结构模型

提出设计对象的知识表示结构模型主要由功能要求、设计约束和使用范围三类模糊变量组成,而且每类模糊变量的性质、个数与设计对象类型有关。对同类设计对象而言,模糊变量的性质和个数是相同的,即具有相同的知识表示结构。

(3) 度量系统的建立

研究了面向知识劳动的度量系统,给出系统的组成分析,包括各子系统的结构流程图和各子系统之间的相互关系。

8.1.3 所建立的度量理论与方法的特点

知识劳动度量理论、方法与模型研究,应用计时制原理,在研究知识劳动过程与劳动对象知识特性的基础上,引入树形图原理、神经网络技术、模糊集理论、知识工程方法等,提出并建立了面向过程基于知识数量的、面向对象基于知识处理的知识劳动度量理论和方法,在此基础上,以工程技术人员中的设计人员为例,做出理论和方法的应用分析,并对知识劳动度量系统进行了分析与研究,给出度量系统的结构与组成及各子系统之间的相互关系。所提出的理论、方法与模型具有以下特点:

(1) 适用性

从劳动过程及劳动过程的基本组成出发,研究知识劳动过程及其三要素的性质与特点,进而从过程 and 对象两个角度,建立了知识劳动度量理论与方法,因而理论和方法具有广泛的适用性。

(2) 信度和效度

基于劳动过程的特点,运用树形图原理,对劳动过程进行分解、抽象和简化,建立面向过程基于知识数量的劳动度量理论和方法;基于劳动过程的知识处理特性、劳动对象的自然语言特性,应用自然语言的模糊描述方法,采用模糊综合评判技术,确定知识表示结构模型中“量”上的特性,建立面向对象基于知识处理的劳动度量理论与方法,因而具有较高的信度和效度。

(3) 与传统方法的比较

与传统的估工、测时和预定动作—时间方法相比,克服单纯面向每一过程时间测定所带来的测定工作复杂、工作量大、成本高的缺陷。

与传统的绩效评定和岗位评定相比,引入 AHP 方法和模糊综合评判技术,确定和描述劳动过程中操作的影响因素、知识表示结构模型中模糊变量值,大大减少了人为因素的影响。

(4)理论依据

利用三层前馈神经网络(其中隐含层节点数为 $2N+1$)可以任意精度逼近任意函数的性质,建立面向过程基于知识数量的劳动度量模型;利用神经网络分布式处理知识的特性和具有模糊联想映射的功能,建立面向对象基于知识处理的劳动度量模型,因而,有着可靠的理论依据。

(5)可应用性

对所建立的度量模型进行多种参数组合的仿真试验和稳定性检验,试验结果表明,模型具有良好的稳定性和泛化性。

做出了度量模型的误差分析,使模型的应用具有较高的价值。

做出了度量模型的应用示例,使理论和方法及模型的应用具有可参考的案例,更方便使用。

给出面向知识劳动度量的系统组成分析,研究各子系统的功能与结构流程图、各子系统之间的相互关系,为进一步完善知识劳动度量,提高度量工作的效率和效益奠定了基础。

8.1.4 两种度量理论、方法的比较分析

本书分别从劳动过程和劳动对象两个角度,提出并建立了知识劳动度量理论及相应的度量方法与模型,两种度量理论和方法有着不同的适用范围。

8.1.4.1 在适用范围方面

面向过程的劳动度量方法,建立在对劳动过程分解、简化和抽象的基础之上,要求劳动过程应尽量简单,具有层次性、可分解性、可描述性,以便于在劳动度量时,分析和提取影响因素,适用于相对简单

且层次性较强的过程;面向对象的劳动度量方法,则建立在系统模型之上,只注重系统的输入和输出,忽略劳动过程的性质和状态,适用于复杂且不利于分解的知识劳动过程。

8.1.4.2 在度量过程方面

面向过程的知识劳动度量方法,主要从劳动过程出发,其影响因素的筛选和确定在一定程度上依赖于对劳动过程的掌握和理解,需要有从事本职工作的人员参与,应用该方法,可以在一定程度上调动知识劳动者的积极性和创造性,且直观性强,容易发现度量中的错误,并与工作测定技术密切相关,可与工作测定相结合,进行影响因素的分解和确定,以减少度量的工作量;面向对象的劳动度量方法,理论依据充分,对实际劳动过程的模拟程度高,不需要有从事本职工作的人员参与,但它是暗箱操作,直观性差,不易发现度量中的错误,且对象的描述和表示及时间的测定要分别单独完成,测算工作量大。

8.1.4.3 在度量精度方面

在度量精度上,面向过程的劳动度量方法,是经过多次抽象和简化,在忽略若干次要因素的基础上确立的,因而精度较低;相比较之下,面向对象的劳动度量方法,考虑的影响因素较多,精度也较高。

综上所述,两种度量方法都可用于知识劳动度量。

8.2 研究展望

人工神经网络研究自 20 世纪 80 年代复兴以后,取得了令人瞩目的广泛应用和发展。然而,ANN 所具有的独特的优越性——强学习、强适应、大规模并行处理等能力,并未充分表现出来,ANN 的学习与泛化能力还不能完全令人满意。

适应能力较差,网络构造困难,是 ANN 工程应用面临的两大问题。因此,研究网络拓扑结构的优化设计与高效的学习算法是 ANN 技术亟待解决的难题。

进化计算(Evolutionary Computation, EC)以其独特的自然进化法则、群体优化搜索特征,为上述问题的解决提供了新的思想和新

的途径。将进化计算与神经网络的连接权、神经元及网络结构的进化有机地结合,可以得到进化神经网络(Evolutionary Neural Network, ENN)。近几年, ENN 研究已成为 ANN 领域的一个新的研究热点, 初步研究已取得了许多有价值的结论, 为工程上的广泛应用带来了充满希望的前景。

因此, 将进化计算应用于前向神经网络权向量和阈值参数的估计, 以提高 BP 算法的性能, 进而研究、改进和建立知识劳动度量方法与模型, 就成为知识劳动度量研究中的一个发展方向。

当前, 国内外学术界在认知科学, 脑神经系统的结构、功能及信息处理机制与特性等研究领域, 都取得了重要进展, 以混沌(Chaos)、分形(Fractal)为代表的非线性科学理论与应用研究, 逐渐渗透到自然科学和社会科学的各个领域, 成为众多学科发展的前沿。

生理学的研究成果表明, 脑功能的物理基础是混沌性质的过程, 人脑是复杂的多层次的混沌动力学系统, 对信息的处理是一个非线性、并行、从无序到有序的模糊信息处理过程。脑神经系统的这种信息处理特性, 为建立基于混沌的知识劳动度量系统与方法, 提供了理论上的支持。在度量系统中, 将混沌与神经网络结合, 可构造出更接近于大脑神经系统的混沌神经网络, 提高对大脑信息处理系统的模拟程度, 并以混沌神经网络模拟度量劳动过程, 以劳动对象的知识表示评判值与对应的实际劳动量为网络的学习样本, 在建立相应的信息处理机制的基础上, 对网络进行训练, 就可以建立劳动度量模型, 将模型作为混沌吸引子存贮在网络中, 并根据人脑处理信息的特性, 以劳动对象的知识表示结构特征, 对度量模型进行联想和回忆, 即利用混沌的遍历性, 寻找与知识表示结构相对应的度量模型, 以劳动对象的知识评判值, 替代度量模型中的变量, 也可以实现对知识劳动的度量。

鉴于此, 在进一步系统研究认知科学、脑科学、非线性科学等前沿学科最新成果的基础上, 对知识劳动和脑力劳动度量作更深入、更全面的研究, 将有着广阔的应用空间和重要的理论意义与学术价值。

附 录

一、虾体分级机功能性结构设计劳动度量模型的权重值

	$[\omega_{ij}^{(1)}]^T$						$\omega_{j\mu}^{(2)}$	
图 II 曲线 1	0.950 8	0.232 1	0.607 3	0.486 4	0.892 3	0.763 3	-0.075 8	-0.551 6
	0.446 7	0.005 9	0.817 6	0.440 7	0.606 9	0.782 4	-0.140 7	0.339 2
	0.921 9	0.738 3	0.176 3	0.405 7	0.935 6	0.917 0	0.024 0	-0.364 7
	0.409 9	0.893 1	0.057 7	0.352 7	0.812 7	0.009 3	0.200 0	-0.250 8
	-0.866 7	-1.287 7	0.824 8	1.499 3	1.337 0	1.766 2	1.457 1	1.451 4
	0.016 7	0.749 0	0.446 0	0.932 8	0.468 4	0.421 4	0.118 4	-0.270 1
	0.855 5	0.538 7	0.208 6	0.678 5	0.853 0	0.036 6	-0.590 9	-0.087 4
	0.682 7	0.381 6	0.832 7	0.503 8	0.711 7	0.431 4	0.211 8	-0.496 1
	0.267 2	0.138 8	0.176 4	0.664 3	0.260 7	0.494 6	-0.396 1	0.529 4
	0.152 2	0.699 8	0.379 1	0.860 8	0.855 4	0.595 6	-0.517 3	0.020 2
	0.496 5	0.899 7	0.821 6	0.644 9	0.817 9	0.660 2	0.105 0	-0.140 2
	0.337 7	0.284 3	0.339 6	0.532 4	0.723 6	0.305 4	-0.005 9	-0.019 9
	0.842 9	0.574 4	0.373 2	0.705 7	0.553 5	0.452 8	-0.631 9	-0.227 4
图 II 曲线 2	0.950 9	0.232 2	0.607 3	0.486 5	0.892 4	0.763 3	-0.077 0	-0.552 3
	0.446 6	0.005 7	0.817 5	0.440 6	0.606 6	0.782 1	-0.141 5	0.338 9
	0.921 9	0.738 3	0.176 3	0.405 8	0.935 6	0.917 0	0.022 8	-0.365 4
	0.410 0	0.893 3	0.057 8	0.352 7	0.812 9	0.009 5	0.199 8	-0.250 6
	-0.888 3	-1.311 5	0.850 3	1.532 2	1.360 2	1.797 1	1.459 9	1.449 1
	0.016 9	0.749 2	0.446 2	0.933 0	0.468 7	0.421 8	0.117 8	-0.270 3
	0.856 1	0.539 6	0.209 0	0.679 0	0.854 1	0.037 9	-0.591 6	-0.087 7
	0.682 8	0.381 7	0.832 7	0.503 8	0.711 8	0.431 6	0.210 8	-0.496 6
	0.265 8	0.136 7	0.175 5	0.663 4	0.258 1	0.491 6	-0.390 3	0.535 4
	0.152 3	0.699 9	0.379 2	0.860 8	0.855 6	0.595 7	-0.518 4	0.019 6
	0.496 5	0.899 7	0.821 6	0.644 9	0.817 9	0.660 2	0.103 8	-0.141 0
	0.337 8	0.284 4	0.339 7	0.532 5	0.723 8	0.305 6	-0.005 4	-0.019 1
	0.843 2	0.574 9	0.373 4	0.705 9	0.554 0	0.453 4	-0.632 9	-0.227 9

续表

	$[\omega_{ij}^{(1)}]^T$						$\omega_{jk}^{(2)}$	
图 IV 曲线 1	0.950 7	0.232 0	0.607 2	0.486 3	0.892 1	0.763 0	-0.071 2	-0.548 7
	0.447 1	0.006 5	0.817 9	0.440 9	0.607 5	0.783 1	-0.137 0	0.341 2
	0.921 9	0.738 3	0.176 3	0.405 7	0.935 5	0.917 0	0.028 7	-0.361 7
	0.409 6	0.892 7	0.057 5	0.352 5	0.812 3	0.008 9	0.202 3	-0.250 2
	-0.801 2	-1.213 6	0.755 2	1.409 0	1.258 3	1.660 4	1.426 3	1.441 9
	0.016 3	0.748 3	0.445 8	0.932 5	0.467 7	0.420 6	0.121 7	-0.268 5
	0.853 8	0.536 2	0.207 5	0.677 3	0.850 3	0.033 5	-0.587 3	-0.085 5
	0.682 4	0.381 1	0.832 5	0.503 6	0.711 2	0.430 9	0.216 1	-0.493 6
	0.269 8	0.142 9	0.178 2	0.666 1	0.265 7	0.500 2	-0.407 9	0.516 7
	0.152 0	0.699 5	0.379 0	0.860 6	0.855 1	0.595 2	-0.512 7	0.023 0
	0.496 5	0.899 7	0.821 6	0.644 9	0.817 9	0.660 2	0.109 7	-0.137 3
图 IV 曲线 2	0.337 4	0.283 8	0.339 4	0.532 2	0.723 1	0.304 8	-0.005 2	-0.020 8
	0.842 1	0.573 3	0.372 7	0.705 2	0.552 2	0.451 4	-0.627 5	-0.224 8
	0.950 8	0.232 1	0.607 2	0.486 4	0.440 8	0.892 2	-0.073 7	-0.550 4
	0.446 9	0.006 2	0.817 7	0.405 7	0.607 2	0.782 7	-0.139 1	0.340 0
	0.921 9	0.738 3	0.176 3	0.352 6	0.935 6	0.917 0	0.026 1	-0.363 4
	0.409 7	0.892 9	0.057 6	1.451 3	0.812 5	0.009 1	0.200 8	-0.250 8
	-0.834 5	-1.251 4	0.788 0	0.932 7	1.300 0	1.716 6	1.444 9	1.449 0
	0.016 5	0.748 6	0.445 9	0.677 9	0.468 0	0.421 0	0.119 7	-0.269 5
	0.854 6	0.537 3	0.208 0	0.503 6	0.851 5	0.034 9	-0.589 4	-0.086 7
	0.682 6	0.381 3	0.832 6	0.665 3	0.711 4	0.431 1	0.213 7	-0.495 0
	0.268 6	0.141 1	0.177 4	0.860 7	0.263 5	0.497 7	-0.403 0	0.522 2
	0.152 1	0.699 6	0.379 0	0.855 2	0.595 4	0.452 0	-0.515 2	0.021 4
	0.496 5	0.899 7	0.821 6	0.644 9	0.817 9	0.660 2	0.107 1	-0.139 0
	0.337 5	0.284 0	0.339 5	0.372 9	0.532 3	0.723 3	-0.005 9	-0.020 7
	0.842 4	0.573 8	0.705 4	0.552 8	0.452 0	0.305 0	-0.630 0	-0.226 3

二、虾体分级机非功能性结构设计劳动度量模型的权重值

	$[\psi_k^{(1)}]^T$										$\psi_k^{(2)}$
图 I 曲线 2	0.916 7	0.165 5	0.595 5	0.474 1	0.846 0	0.704 0	0.396 9	-0.034 9	0.770 6		0.173 7
	0.625 2	1.038 4	0.916 1	1.04 6 0	1.080 2	0.572 1	0.182 1	1.355 3	1.309 4		-1.426 9
	0.640 3	0.633 4	0.084 8	0.436 2	0.709 8	-0.232 3	0.875 1	0.817 5	-0.094 3		1.086 2
	0.748 4	0.726 3	0.333 3	0.141 6	1.114 9	0.106 0	0.917 6	0.0177	0.149 7		-1.116 8
	0.875 6	-0.041 8	0.170 0	0.685 3	0.513 7	-0.495 7	1.377 9	0.066 8	0.834 2		1.349 2
	0.942 3	0.231 7	0.438 6	0.420 0	-0.039 6	1.003 8	-0.265 3	1.080 7	0.519 5		1.542 2
	0.243 0	0.896 3	0.427 3	0.909 6	0.167 3	0.773 1	0.158 9	0.236 8	0.584 6		-0.799 4
	0.590 5	0.630 6	0.634 2	0.320 8	0.699 5	0.173 1	0.680 2	0.806 4	0.401 4		0.467 2
	0.928 0	0.766 1	0.422 0	0.754 8	1.490 6	0.625 7	0.362 2	1.507 6	0.990 2		-0.658 8
	1.227 8	1.140 3	1.071 0	0.365 8	0.258 9	0.856 3	0.880 3	0.441 9	0.178 0		-2.170 6
	0.344 1	-0.134 0	0.926 0	0.275 6	-0.017 5	0.523 3	0.866 7	0.205 3	0.967 4		0.863 6
	1.280 8	-0.106 1	0.422 9	0.612 1	0.457 0	-0.204 4	0.154 7	0.191 6	1.332 4		1.848 6
	0.561 6	0.125 2	0.147 2	0.359 8	0.607 9	0.201 2	-0.408 7	1.138 0	0.072 3		1.071 1
	0.159 8	0.982 5	0.158 7	0.513 6	0.658 3	1.233 4	-0.027 2	1.508 8	0.468 9		-0.938 8
	1.229 4	1.329 2	0.603 6	0.665 3	0.654 7	1.153 2	0.385 2	0.509 7	1.307 7		-1.909 5
	0.360 6	0.338 7	0.198 2	0.390 6	0.373 6	0.305 8	0.854 4	0.059 8	1.243 1		0.753 1
	0.121 9	0.150 8	0.639 8	0.664 6	-0.052 7	0.535 5	-0.175 7	0.497 4	0.332 4		0.506 3
	1.190 4	-0.450 4	0.464 9	0.941 0	0.204 0	-0.427 6	0.412 4	0.52 4	10.039 3		2.060 5
	0.500 2	-0.144 3	0.588 5	0.161 9	0.049 6	0.292 1	0.392 8	0.475 3	0.008 5		1.222 8
图 II 曲线 1	0.750 1	0.526 7	0.165 1	1.228 0	0.329 5	0.074 6	1.104 9	0.451 6	1.224 8		0.223 1
	1.313 6	0.085 6	0.993 6	1.333 8	0.305 6	0.141 8	-0.505 7	-0.178 3	-0.166 8		-1.460 5
	1.313 7	0.155 5	0.169 9	0.160 1	0.604 7	0.208 8	0.649 1	0.521 0	0.612 8		1.111 4
	0.831 5	0.371 1	0.517 9	0.668 2	0.392 8	0.665 0	0.966 2	0.168 1	0.020 0		-1.129 6
	0.527 9	0.467 6	0.611 0	0.658 5	0.653 9	0.378 8	-0.004 2	0.224 0	-0.251 0		1.415 7
	0.170 8	0.420 5	1.243 4	1.158 0	0.277 9	0.530 4	-0.467 1	0.266 1	0.645 9		1.559 1
	0.997 5	-0.063 8	0.394 3	0.858 0	-0.207 0	0.403 0	0.132 4	0.361 8	0.169 0		-0.830 6
	0.070 9	0.200 7	1.144 2	1.511 0	0.505 4	0.064 4	0.545 2	0.540 3	-0.463 9		0.490 4
	0.900 5	0.136 2	0.592 4	0.470 0	0.828 6	0.678 2	0.370 3	-0.055 8	0.245 5		-0.663 2
	0.629 2	1.047 3	0.917 6	1.049 6	1.083 2	0.580 2	0.824 8	1.360 8	0.498 8		-2.207 2
	0.600 8	0.601 3	0.108 6	0.447 9	0.725 1	-0.257 0	-0.123 4	0.120 7	0.470 5		0.887 4
	0.748 8	0.729 4	0.332 7	0.143 9	1.111 9	0.877 7	1.379 2	0.916 2	1.312 4		1.902 7
	0.832 7	-0.094 0	0.206 3	0.708 4	0.532 5	-0.537 2	0.110 9	0.037 7	1.243 6		1.116 5
	0.895 2	0.191 2	0.476 2	0.439 3	-0.008 7	-0.295 4	0.201 3	0.097 7	0.323 5		-0.965 8
	0.253 3	0.908 4	0.428 3	0.912 6	1.009 3	0.783 5	0.690 3	1.088 2	0.034 4		-1.944 2
	0.571 7	0.610 5	0.639 0	0.321 8	0.164 2	0.156 3	0.344 0	0.579 7	0.076 5		0.799 5
	0.930 8	0.765 1	0.419 5	0.754 0	0.694 7	0.624 0	0.877 7	0.801 4	0.962 6		0.501 0
	1.226 7	1.146 9	1.073 1	0.369 7	1.492 7	0.863 1	0.872 6	1.512 3	1.335 1		2.082 6
	0.293 3	-0.157 7	0.942 8	0.279 1	0.269 6	0.505 8	0.132 1	0.450 4	0.015 4		1.243 6

续表

	$[v_b^{(1)}]^T$										$v_d^{(2)}$
图 III 曲线 3	0.203 4	1.130 2	0.469 2	0.165 5	1.219 3	0.274 7	-0.021 9	0.952 0	0.368 8	0.332 7	
	-0.179 7	-0.244 7	0.032 2	1.009 9	1.344 3	0.254 5	0.139 4	-0.562 6	-0.213 8	1.521 4	
	0.973 5	0.583 2	0.217 1	0.164 5	0.610 5	0.232 6	0.660 7	0.623 9	0.658 3	1.173 3	
	0.278 7	0.698 1	0.387 3	0.529 4	0.678 5	0.393 4	0.657 8	0.993 7	0.169 4	-1.144 6	
	0.303 1	0.123 0	0.509 4	0.614 2	0.662 2	0.667 2	0.387 8	0.116 9	0.281 7	1.539 1	
	0.478 2	-0.342 6	0.107 4	1.264 2	0.174 7	0.221 7	0.527 3	-0.540 0	0.219 7	1.583 3	
	0.086 4	-0.592 5	-0.145 2	0.415 7	0.875 5	-0.277 8	0.386 6	0.018 7	0.294 3	-0.890 7	
	0.469 2	0.326 5	0.225 0	1.157 7	1.524 0	0.501 8	0.067 0	0.634 3	0.574 3	0.531 2	
	0.063 6	0.529 6	0.470 2	1.323 9	1.253 7	0.303 6	0.014 2	0.107 3	0.021 6	-0.661 1	
	0.863 0	0.075 1	0.590 0	0.462 3	0.798 1	0.621 7	0.309 5	-0.096 2	0.707 7	-2.270 7	
	0.628 6	1.061 8	0.922 9	1.059 9	1.088 9	0.599 3	0.844 7	1.375 5	1.326 4	0.911 0	
	0.535 8	0.559 8	0.154 0	0.462 4	0.769 1	-0.306 1	-0.191 6	0.148 7	0.157 8	2.006 3	
	0.740 7	0.731 0	0.333 7	0.151 4	1.104 1	0.885 1	1.386 8	0.916 2	0.829 8	1.198 9	
	0.760 0	-0.165 8	0.283 3	0.747 6	0.597 7	-0.617 7	0.002 0	0.086 3	0.539 7	-1.017 5	
	0.818 5	0.148 3	0.546 7	0.464 1	0.072 6	-0.350 7	0.121 0	0.158 0	0.445 7	-2.003 5	
	0.264 9	0.927 3	0.431 8	0.920 6	1.018 2	0.804 1	0.712 4	1.104 3	1.013 9	0.893 1	
	0.540 9	0.582 6	0.650 0	0.322 3	0.167 3	0.126 7	0.307 5	0.574 7	0.157 6	0.452 2	
	0.929 4	0.758 7	0.415 9	0.754 2	0.683 7	0.620 8	0.875 0	0.792 6	0.955 2	2.104 9	
	1.219 3	1.161 9	1.081 0	0.382 3	1.500 4	0.884 4	0.894 9	0.530 6	1.350 0	1.265 7	

三、面向过程的功能性和非功能性结构设计劳动度量模型的 MATLAB 程序

```

for m=1:timenum
    totalerr(m)=0;
    for n=1:sampenum
        total(n,m)=0;
        for j=1:hiddenmax
            b(n,j)=0;
            for i=1:inputmax
                b(n,j)=b(n,j)+x(n,i)×w1(i,j);
            end
            c(n,j)=b(n,j);
            d(n,j)=1/(1+exp(-c(n,j)));
        end
        for k=1:outputmax
            e(n,k)=0;
            for j=1:hiddenmax
                e(n,k)=e(n,k)+d(n,j)×w2(j,k);
            end
        end
    end
end

```

```

    f(n,k)=e(n,k);
    g(n,k)=1/(1+exp(-f(n,k)));
    err(n,k)=(t(n,k)-g(n,k))×(t(n,k)-g(n,k));
    total(n,m)=total(n,m)+err(n,k);
end
totalerr(m)=totalerr(m)+total(n,m);
for k=1:outputmax
    common2(n,k)=(t(n,k)-g(n,k))×g(n,k)×(1-g(n,k));
end
    for k=1:outputmax
        for j=1:hiddenmax
            w2(j,k)=w2(j,k)+xishu2×d(n,j)×common2(n,k)+guanxingxi2×p2(j,
            k);
        p2(j,k)=xishu2×d(n,j)×common2(n,k);
        end
    end
    for j=1:hiddenmax
        q(n,j)=0;
        for k=1:outputmax
            q(n,j)=q(n,j)+common2(n,k)×w2(j,k);
        end
    end
    for j=1:hiddenmax
        common1(n,j)=d(n,j)×(1-d(n,j))×q(n,j);
    end
    for j=1:hiddenmax
        for i=1:inputmax
            w1(i,j)=w1(i,j)+xishu1×common1(n,j)×x(n,i)+guanxingxi1×p1
            (i,j);
            p1(i,j)=xishu1×common1(n,j)×x(n,i);
            end
        end
    end
    timel(m)=m;
end
end

```

四、椅子类设计劳动度量模型的权重值

	$(v_{kl})^T$					
	图 I 曲线 4	图 II 曲线 2	图 III 曲线 1	图 IV 曲线 3	图 V 曲线 2	图 VI 曲线 2
权重	0.950 1	0.950 1	0.950 1	0.950 1	0.950 1	0.950 1
	0.231 1	0.231 1	0.231 1	0.231 1	0.231 1	0.231 1
	0.606 8	0.606 8	0.606 8	0.606 8	0.606 8	0.606 8
	0.486 0	0.486 0	0.486 0	0.486 0	0.486 0	0.486 0
	0.891 3	0.891 3	0.891 3	0.891 3	0.891 3	0.891 3
	0.762 1	0.762 1	0.762 1	0.762 1	0.762 1	0.762 1
	0.456 5	0.456 5	0.456 5	0.456 5	0.456 5	0.456 5
	0.018 5	0.018 5	0.018 5	0.018 5	0.018 5	0.018 5
	0.776 4	0.766 0	0.764 9	0.764 7	0.776 4	0.776 4
	0.444 7	0.444 7	0.444 7	0.444 7	0.444 7	0.444 7
	0.615 4	0.615 4	0.615 4	0.615 4	0.615 4	0.615 4
	0.791 9	0.791 9	0.791 9	0.791 9	0.791 9	0.791 9
	0.909 0	0.906 2	0.906 0	0.906 1	0.905 9	0.906 1
	0.847 4	0.872 5	0.875 0	0.875 0	0.875 0	0.875 0
	0.176 3	0.176 3	0.176 3	0.176 3	0.176 3	0.176 3
	0.405 7	0.405 7	0.405 7	0.405 7	0.405 7	0.405 7
	0.909 0	0.906 1	0.906 0	0.905 9	0.906 1	0.905 8

五、面向对象的设计劳动度量模型 MATLAB 程序

```

for m=1:timenum
    totalerr(m)=0;
    for n=1:samplenum;
        err(n)=0;
        for j=1:outputmax
            for i=1:inputmax
                if a(n,i)>=q(i,j)
                    b(i,j)=q(i,j);

```

```
else
    b(i,j)=a(n,i);
end
end
    c(n,j)=b(i,j);
for i=2:17
    if b(i,j)>=c(n,j)
        c(n,j)=b(i,j);
    else
        end
    end
        f(n,j)=(t(n,j)-c(n,j));
        err(n)=err(n)+(t(n,j)-c(n,j))* (t(n,j)-c(n,j));
end
    for j=1:outputmax
        for i=1:inputmax
            if q(i,j)<=a(n,i) & q(i,j)>=c(n,j);
                q(i,j)=q(i,j)+xuexi*f(n,j);
            else
                end
            end
        end
    end
        totalerr(m)=totalerr(m)+err(n);
end
    timenum(m)=m;
end
```

参考文献

一、中文

1. 王众托. 知识系统工程. 北京:科学出版社,2004
2. 彼得·F. 德鲁克. 知识管理——哈佛商业评论. 北京:中国人民大学出版社,1999
3. 汪应洛,袁治平. 工业工程概论. 北京:中国科学技术出版社,2001
4. 马克思. 资本论(第1卷上). 北京:人民出版社,1975. 51~52
5. 董果雄,张社华. 劳动计量与劳动控制——经济量探源. 青岛:青岛海洋大学出版社,1992. 321~352
6. D. A. 惠特茂. 作业测定. 北京:国防工业出版社,1988. 236~458
7. 陈毅然. 企业办公室工作量化管理. 上海:同济大学出版社,1992. 242~293
8. R. 韦恩,蒙迪·罗伯特,M. 诺埃. 人力资源管理. 北京:经济科学出版社,1998. 354~378
9. 迈克尔·普尔,马尔科姆·沃纳. 人力资源管理手册. 北京:清华大学出版社,1999. 362~402
10. 岗位劳动评价组. 岗位劳动评价技术与方法. 北京:中国劳动出版社,1990. 5~8
11. 杨体仁,祁光华. 劳动与人力资源管理总览. 北京:中国人民大学出版社,1999. 440~447
12. 赵金生,刘晓风. 岗位劳动评价技术在冶金企业中的应用. 经济管理,1991,(9):21~25
13. 刘刚,吴久春,刘道远. 现代劳动计量理论与方法探索. 中国劳动科学,1997,(4):19~21
14. 刘刚. 模糊量化企业职能管理工作的模式探讨. 中国劳动科学,1995,(10):10~13

15. 刘刚. 面向工程设计过程的劳动计量方法与模型研究. 计算机工程与应用, 2001, 37(10)
16. 刘刚, 刘强. 工程图纸矢量化与识别技术在工时定额制定与管理中的应用. 工业工程与管理, 2001, 6(3): 46~48
17. 刘刚. 面向工程复杂劳动的非线性计量系统设计与分析. 系统工程理论方法应用, 2001, 10(2): 131~135
18. 刘刚. 企业工程技术人员劳动计量的途径及方法. 航空制造工程, 1997, (8): 32~33, 36
19. 刘刚, 张曙慧. 企业工艺人员工作程序标准化方法研究. 航空制造工程, 1998, (4): 41, 48
20. 刘刚. 企业职能管理工作模糊量化初探. 河南省首届青年学术年会论文集. 中国科学技术出版社, 1995, 12: 566~568
21. 刘刚. 工时定额标准量化规律研究. 郑州航院学报, 1995, (4): 20~24
22. 刘刚. 建立计算机辅助制定劳动定额分类编码系统的总体构思. 中国劳动定员定额, 1993, (4): 46~48
23. 刘刚. 计算机辅助制定劳动定额分类编码系统的结构设计. 郑州航院学报, 1994, (4): 11~15
24. 刘刚. 编码技术在劳动定额制定与管理中的应用. 郑州航院学报, 1999, 17(2): 11~13
25. 刘刚, 张世杰. 工业企业安全性多级模糊综合评价方法研究. 中国劳动安全卫生迈向二十一世纪论文集. 中国劳动出版社, 1996, 6: 145~149
26. 刘刚. 机电车间照明工效测试研究. 光源与照明, 1993, (1): 21~28
27. 刘刚, 宁宣熙. 知识—模糊神经网络在复杂劳动计量中的应用. 南京航空航天大学学报, 2000, 32(4): 439~445
28. 刘刚, 顾培亮. 基于过程的知识型劳动度量方法及其应用研究. 计算机工程与应用, 2003, 39(15): 32~34, 55
29. 刘刚, 顾培亮. 知识型劳动的度量方法与模型研究. 科学学研究, 2002, 20(3): 286~291
30. 刘刚. 制造企业工程技术人员劳动量测算. 北京: 中国物资出版社, 2001
31. 刘刚. 劳动计量原理的理论基础与应用. 郑州航空工业管理学院学报. 2001, 19(4): 1~6
32. 贾谡, 杨河清, 董克用等. 中国劳动人事大百科全书. 北京: 兵器工业

出版社,1991.817~818

33. 何献忠. 设计学理论方法软件. 北京:北京理工大学出版社,1988.14~42

34. 冯厚植,平申. 工程设计方法导论. 北京:航空工业出版社,1988.8~36

35. 李贵轩. 设计方法学. 北京:世界图书出版公司,1989.17~34

36. 王东生,曹磊. 混沌、分形及其应用. 合肥:中国科技大学出版社,1995.12~25

37. 生物医学工程跨系委员会. 神经网络及其应用. 合肥:中国科技大学出版社,1992.12~24

38. 邹慧君. 机械设计原理. 上海:上海交通大学出版社,1995.26~63

39. 罗发龙,李衍达. 神经网络信号处理. 北京:电子工业出版社,1993.1~11

40. 张立明. 人工神经网络的模型及其应用. 上海:复旦大学出版社,1993.13~51

41. 李学桥,马莉. 神经网络工程应用. 重庆:重庆大学出版社,1996.8:51~61

42. 童苻,沈一栋. 知识工程. 北京:科学出版社,1992.31~45

43. 王克宏,汤志忠,胡蓬等. 知识工程与知识处理系统. 北京:清华大学出版社,1994.11~65

44. 许树柏. 实用决策方法——层次分析法. 天津:天津大学出版社,1988.10~45

45. 冯培恩,徐国荣. 基于设计目录的原理方案及其求解过程的特征建模. 机械工程学报,1998,34(2):79~85

46. 陈世福,陈兆乾. 人工智能与知识工程. 南京:南京大学出版社,1997.356~370

47. 何新贵. 模糊知识处理的理论与技术. 北京:国防工业出版社,1994.207~230

48. 陈国权. 知识工程中自然语义的模糊表达. 北京:科学出版社,1989.74~111

49. 王士同. 模糊系统、模糊神经网络及应用程序设计. 上海:上海科学技术文献出版社,1998.96~113

50. 何振亚. 神经智能——认知科学中的若干重大问题研究. 长沙:湖南

二、英文

1. Atsumi Bunji, Sugiura Seiichi, Kimura Kenji. *Evaluation of mental workload in vehicle driving by analysis of heart rate variability*. Santa Monica, CA, USA; Proceedings of Human Factors Ergonomics Society, 1993. 574~578

2. Alteras Webb Sabina, Dekker Debra. "Measuring perceived task difficulty using magnitude estimation; a demonstration and replication". *The Proceeding of International the IEEE Workshop in Robot and Human Communication*, 1994, 16(2): 1156~1167

3. Asim Roy and Raymond Miranda. "Fuzzy logic, neural network, and Brainlike learning". 1997 *IEEE International Conference on NN-Computational Intelligence*, 1997, 1: 505~509

4. Abahrami, M lynch, C Dagly. *Int. J. PPOD. RES.*, 1995, 33(2): 405~426

5. Boer L C. "Workload-watch as an element of human engineering testing and evaluation." *The proceedings of the 1997 11th Ship Control Systems Symposium*, 1997, 2: 105~111

6. B Baird, F Eeckman. A neural network computer architecture for computation with oscillatory and chaotic attractors. *The Proceedings of the 2'nd International Conference of Fuzzy Logic & NN*. Lizuka, Japan, 1992. 981~984

7. Cook John R, Salvendy Gavriel. "Job enrichment and mental workload in computer-based work; Implications for adaptive job design." *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1999, 24(1): 13~23

8. Coll Je. Tests to measure performance changes in mental work. *Information Services*, 1974, 19~28

9. C Bruce Gowan. Which work measurement tool?. *Manufacturing Engineering*, 1999, 122(3): 18

10. Chark D. "Numerical and symbolic approaches to uncertainty management in AI". *Artificial Intelligent Review*, 1990, (4): 47~54

11. Cadet Mario Serna. "Comparison of brain structure to a backpropagation learned structure". 1996 *IEEE International Conference on Biological and Cellular*, 1996, 2: 706~711

12. Davenport T, Prusak L. *Working knowledge*. Boston: Harvard Business School Press, 1998
13. Dimitrov V. "Social choice and self-organization under fuzzy mahagement". *Cybernetics*, 1977, (6): 153~156
14. Fred R, HZ Ijlstra. "Temporal factors in mental work; Effect of interrupted activities. " *Journal of Occupational and Organizational Psychology*. 1999, 72(6): 163~186
15. Fang Wang and Q J Zhang. "Incorporating functional knowledge into neural networks". 1997 *IEEE International Conference on Neural Networks*, 1997, 1: 266~269
16. Feng P E, Xu G R, Zhang M. Feature modeling based On design catalogues for principle conceptual design. *AIEDAM*, 1996, 10(4): 347~354
17. George L Smith Jr. *Work measurement*. Columbus, Ohio: Grid Publishing Inc., 1978. 20~90
18. G Pahl, W Beitz. *Konstruktionslehre*. Berlin: Springer Verlag, 1976. 53~97
19. Gevins AS, Cutiloo BA, Illes J, Bressler SL Brickett PA. "Empirical network model of human Cognitive Brain Functions". San Francisco: *Air Force Office of Scientific Research Report*, 1990, 31(5): 207
20. G Pahl, W Beitz. "Engineering Design". London: The Design Council, 1984
21. Guy J Brown and DeLiang Wang. Modelling the perceptual separation of concurrent vowels with a network of neural oscillators. 1997 *IEEE Conference on Neural Networks-Cognitive Science and Cognitive Neuroscience*, 1997, 1: 569~574
22. Huphrey Darryl G, Kramer Arthur F. "Toward a phychophysiological assessment of dynamic changes in mental workload". *The Proceedings of International the IEEE Workshop in Robot and Human Communication*, 1994, 16(1): 3~26
23. Honghua Dat. Inexact discovery of knowledge with uncertainty. 1997 *IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics*, 1997, 3: 2551~2955
24. HeXingui. Fuzzy computational logic and neural networks. In the book

“*Advancement of Fuzzy Theory and System*”, edited by Liu and Masaharu Mizumoto. Beijing: International Academic Publisher, 1990. 1~8

25. HeXingui. Fuzzy computational logic and its application in AI. *The Proceedings of the workshop on advanced computer for artificial intelligence*, 1990. 112~120

26. Hidek Kobori, Kazushi Ikeda and Kenji Nakayawa. A model of dynamics associative memory. 1996 *IEEE International Conference on Neural Network*, 1996, 2; 804~809

27. Ichikawa Hiroshi, Homma Manabu, Umemura Mamoru. “Experimental evaluation of input devices for pointing work”. *International Journal of Production Economics*, 1999, 60; 235~240

28. Ian Cloete. “BEXA; Set covering vs”. Neural network knowledge acquisition-A comparative review. 1997 *IEEE Conference on Neural Networks*, 1997, 4; 2555~2559

29. Kerr C and Fisher L. H. *Effect of environment and administration on job evolution. Labor Market and Wage Determination*. Berkeley, CA: University of California Press, 1997. 201~273

30. Kuniyiko Fukushima, Yoshio Yamaguchi. “Neural network model of spatial memory”. 1997 *IEEE International Conference On Neural Networks - Cognitive Science and Cognitive Neuroscience*, 1997, 1; 569~573

31. Kokawa M, Nakamura K and Oda M. “Hint effect and a jump of logic in a decision process”. *Syst. -Computer-Control*, 1975, 6(3); 18~24

32. Kolomogorov. On the representation of continuous functions of many variable by superposition of continuous functions one variable and condition. *Dokl. Akad. Nauk, USSR*, 1957, 114; 953~956

33. K Aihara, T Takabe and M Toyoda. Chaotic neural networks. *Phy. Lett.*, 1990, (144); 333~340

34. Lin Ding-Yu, Hwang Sheue-Ling. Use of neural networks to achieve dynamic task allocation; A flexible manufacturing system example. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1999, 24 (3); 281~298

35. Lin Ding-Yu, Hwang Sheue-Ling. Development of mental workload measurement in flexible manufacturing system. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 1998, 8(1); 41~62

36. Liu Gang. The Recognition and group of mental and manual Labor in modern labor processes. *The Proceedings of '98 International Conference on Management Science and Engineering*. Moscow, 1998, 10: 922~926
37. Lamoureux Tab. "Influence of aircraft proximity data on the subjective mental workload of controllers in the air traffic control task". *Ergonomics*, 1999, 42(11): 1482~1491
38. Mital Anil, Govindaraju Majorkumar. Is it possible to have a single measure for all work? *Int. J. and Eng. Theory Application Practice*, 1999, 6(3): 190~195
39. Martha Banta. *Mental work*. New York: Publications of Modern language Association of American, 1998. 199~212
40. Macdonald W A. *Train controller interface design; Factors influencing mental workload*. IEE Conference Publication, 1999, 463: 31~36
41. Murat Sonmez, Mingui Sun, Xiaopu and Robert J Scabassil. "Extension of training for artificial neural networks and its Application to brain source localization". 1996 *IEEE International Conference on NN*, 1996, 2: 635~640
42. Masahire Nakagawa. An autonomously control chaos neural network. 1996 *IEEE International Conference on Biological & NN*. 1996, 2: 862~867
43. Nishiyama Yoshitaka, Nakayoshi Takeyoshi, Sasaki Masakazu, Watanabe. "Physiological evaluation of effect on driver's mental work load for a newly-developed semiautomatic transmission system". *Jsa Review*, 1996, 17 (4): 395~400
44. Newman Dava J, Lathan Corinna E. "Memory processes and motor control in extreme environments". *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 1999, 29(3): 387~394
45. Okogbaa O Geoffrey, Shell Richard L. "The Measurement of knowledge worker fatigue." *Iie Transactions*, Norcross, 1986, 18(4): 335~343
46. Ohscuga Miekko, Terashita Hiromi, Shimono Futomi, Toda Mamiko. "Assessment of mental workload based on the model of autonomic regulations on cardiovascular system." *The Proceedings of International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 1994, 16(2): 1156~1167
47. Ooi Hooi Li, Steck James E, Skinner Steven R. "Mental workload classification using back propagation neural networks with both time and frequency

domain analysis and independent component analysis”. *Intelligent Engineering Systems Through Artificial Neural networks*, 1999, 9: 983~988

48. Royal J and Dossett. Work-measurement labor standards; The state of the art. *Industrial Engineering*, 1995, 27(4): 21~24

49. Richardson W J. *Cost improvement: Work sampling and short interval scheduling*. Virginia: Reston Publishing, 1976. 500

50. Russell CH A, Wilson G F, Monett C T. “Mental workload classification using a back propagation neural network”. *The Proceedings of the 1996 Artificial Neural Networks in Engineering*, ANNIE’96, 1996, 6: 685~690

51. R Koller. “*Konstruktionslehre für den maschinenbau*”. Berlin: Springer Verlag, 1985

52. Robert Kozma. “On the conscious and subconscious components of knowledge representation in neural networks”. 1997 *IEEE Conference on Neural Networks*, 1997, 4: 2519~2523

53. R H Nielsen. Theory of the backpropagation neural network. *IJCNN* ‘89’ 1989. 2593~2605

54. Radu Dogaru, A T Murgan and S Ortmann, M Glesner. Searching for Robust chaos in discrete time neural networks using weight space exploration. 1996 *IEEE International Conference on Neural Network*, 1996, 2: 688~693

55. Scarbmugh H. *Understanding and managing expertise-The Management of expertise*. London: St-Martin’s Press, 1996

56. Saito K. “Measurement of fatigue in industrial”. *Industrial Health* (Japan), 1999, 37(2): 134~142

57. See Judi E, Vidulich Michael A. “Assessment of computer modeling of operator mental workload during target acquisition”. *The Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 1997, 2: 1303~1307

58. Siong K Tang, Tharam S Dillon and Rajiv Khosla. “Fuzzy logic and knowledge representation in a symbolic subsymbolic architecture”. 1995 *IEEE International Conference on Neural Network*, 1: 349~353

59. Stefan C Kremer. “Natural properties in an artificial neural network”. 1997 *IEEE International Conference On Neural Networks Cognitive Science and Cognitive Neuroscience*, 1997, 1: 548~553

60. Sanchez E and Zadeh L A. *Approximate reasoning in intelligent system. decision and control*, Oxford; Pergamon Press, 1987
61. Schaffer J D. *Combination of genetic algorithms with neural networks of fuzzy systems*. Computation Intelligence; Imitating Life. IEEE Press, 1994, 371~382
62. Scholz M. *A learning strategy for neural networks based on a modified evolutionary strategy. Parallel Problem Solving from Nature*. Heidelberg; Springer Verlag, 1991, 314~318
63. Takano K, Yoshino K, Nagasaka. "Basic research on measurement of mental work load utilizing physiological information". *Sangyo Igaku* (Japan), 1990, 32(2): 105~122
64. Tang K H, Koubek Richard J, Lightner Nancy J, Salvendy Gavriel. Development and validation of a theoretical model for cognitive skills acquisition. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1999, 24(1): 25~38
65. V Hubka. *Principle of engineering design*. Berlin; Springer Verlag, 1980. 27~84
66. Veltman J A, Gaillard A W. Physiological workload reactions to increasing levels of task difficulty. *Ergonomics*, 1998, 41(5): 656~669
67. V E Bondarenko. Regular and fast chaotic neural network learning for single and translation invariant pattern recognition. 1994 *IEEE International Conference on Neural Network*, 1994, 2: 1018~1021
68. World-Bank. *World development report 1998/1999*. New York; Oxford University Press, 1999
69. Weeb L K and Kleiner B H. The most useful approaches to work assessment today. *Management Res. News*, 1992, (2): 63~70
70. Wang F, Inooka H. "Assessment of transient change of mental workload by spectral analysis of HRV with digital filter bank". *The Proceedings of Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 1999, 1: 312
71. Walter J Freeman. Tutorial in neurobiology: From single neuron to brain chaos. *International J. of Bifurcation & Chaos*, 1992, 2: 25~27
72. Zadeh L A. "A System-theory view of behavior modification". *Beyond the Punition Society*, 1973, 160~169

73. Zadeh L. A. Fuzzy Sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1978, (1): 2~28

74. Zadeh L. A. Commonsense knowledge representation based on fuzzy logic. *Computer*, 1983, (10): 61~66