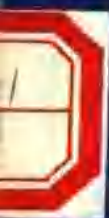


智能科学与非线性科学丛书

西安电子科技大学出版社

视觉神经系统与分布式推理理论

郭雷
郭宝龙
著



视觉神经系统与 分布式推理理论

郭 雷 郭宝龙 著

西安电子科技大学出版社

1995

(陕)新登字 010 号

内 容 简 介

本书通过对扩散神经网络和分布式推理系统的研究,论述了分布式并行智能信息处理系统的一些基本原理和分析方法。内容主要包括扩散-集中神经网络的结构、原理和在早期视觉中的应用方案,视知觉组织神经网络理论,分布式缠绕判决问题,动态关系,分布式推理判决系统及其应用。本书的特点是:内容新颖,概念清楚,对智能问题有独特见解。

本书可供从事智能信息处理、神经计算、模式识别、人工智能和计算机视觉等专业的科技工作者参考,也可供高等院校有关专业的教师、研究生和高年级学生参考。

视觉神经网络与分布式推理理论

郭 雷 郭宝龙 著

责任编辑 李惠萍 杨 兵

西安电子科技大学出版社出版发行

地址:西安市太白南路 2 号 邮编:710071

西安电子科技大学印刷厂印刷

各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 11 12/16 字数 277 千字

1995 年 3 月第 1 版 1995 年 3 月第 1 次印刷 印数 1-2 000

ISBN 7-5606-0359-9/TP·0138 定价:12.00 元



郭雷，副教授，工学博士。目前正在西北工业大学作博士后研究。主要从事智能信息处理、神经网络、模式识别和计算机视觉方面的科研和教学工作。参与和主持过国家“七五”攻关、国家自然科学基金、国家高技术(863)等研究项目，在国内外学术期刊和会议上发表论文 50 余篇。



郭宝龙，讲师，1984 年毕业于西安电子科技大学，获学士学位，1988 年获硕士学位，目前正在攻读博士学位。主要从事神经计算和计算机视觉方面的研究工作，曾参加过多项科研项目，在国内外学术期刊和会议上发表论文 20 余篇。

前言

分布式并行信息处理的研究是当前以及 21 世纪最活跃的研究领域之一。它是以探索脑的奥秘和发展人工智能系统为目的的综合性研究课题。这方面的研究已经经历了很长的历史并涉及很多学科,从认知科学到生物物理,从神经网络到并行处理,从脑模型到微观神经结构,从理论分析到具体的算法实现,已发现了许多原理和规律,设计出了一大批神经网络模型。然而,由于问题本身的复杂性,我们至今对于脑的智能原理的了解还很肤浅,许多认识仍停留在特定的网络模型和直观的概念上。因此,非常有必要从神经计算原理和智能系统的微观计算结构方面,将这一重要的研究课题深入下去,并尽力创建一些新的、有深度的计算理论。这样就可能避免简单网络模型的局限性,加深对智能问题的理解,促进人工智能的发展。这是本书写作的基本出发点。

本书主要通过对扩散神经网络和分布式推理系统的具体研究,论述了分布式并行计算智能系统的一些基本原理和问题解决方式。全书分为 8 章,其内容编排是这样的:第 1 章是绪论,简要地介绍了大规模分布式并行信息处理研究的历史,并引出了存在的问题;第 2 章至第 6 章主要讨论了扩散神经网络的基本原理及应用方案,利用扩散—集中—阻挡能够发现和检测整体性质的功能,提出了图像分割、图形与背景区分和运动判决的基本方案。其中第 4 章结合认知心理及神经生理结构介绍了视知觉组织神经系统理论,包括视觉边界轮廓系统、特征轮廓系统,以及边界轮廓系统和扩散系统的结合原理。为了便于阅读和内容的系统性,在该章首先介绍了生物视觉系统的基本结构、信息通路和感受野等基本的背景知识;第 7 章结合神经生物学基础和认知心理学证据,提出了分布式缠绕判决问题和原理性分布式推理判决分类系统。在这个系统中每个判决和被判决的因素一起构成动态表示单元,判决之间存在依据规则的分布式推理活动,推理规则刻画了判决之间的分布式动态关系,动态关系是一致关系、矛盾关系、无约束关系和它们的动态行为的总体描述。该系统的动态分类是依据关系的性质,一致关系占优势的判决为同类,矛盾关系占优势的判决为异类。该章论述了分布式推理系统的基本理论,与神经网络进行了对比,并讨论了该理论的心理证据;第 8 章讨论了分布式神经推理的原理,并列举了 3 个具体的问题解决系统。

本书是作者近几年来研究神经计算和智能信息处理问题的学术论著,涉及很多前人的研究工作和科学上的一些重要发现,因此,书中对研究背景及前人的研究工作在介绍和引用时都注明了原作者或参考文献。我们的研究工作得到了国家自然科学基金、国家 863 高

技术计划(智能机主题)、国防军事预研基金和西安电子科技大学校基金等多方面的资助,如果没有他们的大力支持和资助,我们的研究将难以进行,对此我们表示深深的谢意!我们感谢西安电子科技大学胡征教授、陆心如教授、吴成柯教授、谢维信教授、西北工业大学戴冠中教授、中科院生物物理所郭爱克研究员、汪云九研究员和齐翔林研究员等多位老师和同仁在研究中所给予的热情支持和鼓励!感谢蔡希尧教授审读本书所提意见和建议,使书稿得以进一步完善!

本书所叙述的内容目前正处在一个十分活跃的研究领域中,其中的许多技术在日新月异地发展着,因此,书中的论点及方法是初步的和原理性的,加之我们经验少,书中内容的不妥和错误之处敬请读者不吝指正。写作本书的目的是要宣传一种新的研究观点,希望能有抛砖引玉之效,以使更多的学者和朋友能够相互交流,共同促进对脑和智能系统的研究,促进分布式推理理论的充实和发展。

作 者

1994.5

目 录

绪论	1
§ 0.1 简要回顾	1
§ 0.2 存在问题	2
§ 0.3 本书内容概述	5
第 1 章 扩散神经网络基本理论	10
§ 1.1 引言	10
§ 1.2 Hopfield 模型	11
§ 1.3 具有流体性质的神经模式	12
§ 1.4 稳定状态分析	14
§ 1.5 计算机模拟	15
第 2 章 图像中物体检测	22
§ 2.1 引言	22
§ 2.2 NFS 原理	23
§ 2.3 NFS 结构	24
§ 2.4 NFS 的计算机模拟实验	30
§ 2.5 讨论	33
第 3 章 扩散—第中系统用于图形与背景区分	35
§ 3.1 引言	35
§ 3.2 扩散和集中的神经分子水平性质	36
§ 3.3 二维网的性质	37
§ 3.4 图形与背景区分	39
§ 3.5 计算机模拟	43
§ 3.6 讨论	45
第 4 章 视知觉组织神经网络	46
§ 4.1 引言	46
§ 4.2 视觉信息通路	48
§ 4.3 感受野的综合	51
§ 4.4 视知觉组织神经网络	56

§ 4.5	边界轮廓系统(BCS)	58
§ 4.6	特征轮廓系统(FCS)	68
§ 4.7	系统模型及数学描述	69
§ 4.8	BCS 和 FCS 的作用	72
§ 4.9	区域知觉神经系统	73
第 5 章	视觉运动信息处理系统——图像区域运动判决和表示	80
§ 5.1	运动信息的整体性	80
§ 5.2	基本原理	81
§ 5.3	系统组成和基本神经机制	82
§ 5.4	系统工作原理	84
§ 5.5	系统方程	86
§ 5.6	计算机模拟实验	87
§ 5.7	系统的时间效应	102
第 6 章	视觉运动信息处理系统——三维物体表面运动知觉	103
§ 6.1	物体表面运动	103
§ 6.2	运动遮挡判别	105
§ 6.3	系统构成及工作原理	106
§ 6.4	系统方程	108
§ 6.5	系统模拟实验	110
§ 6.6	讨论	112
第 7 章	分布式推理判决原理	113
§ 7.1	DID 问题	113
§ 7.2	基本命题	115
§ 7.3	分布式判决原理	117
§ 7.4	动态关系	120
§ 7.5	动态分类	124
§ 7.6	系统分析	127
§ 7.7	DID 系统理论下的神经系统	136
§ 7.8	DID 系统理论的心理证据	137
§ 7.9	讨论	140
第 8 章	DID 系统举例	142
§ 8.1	视觉运动信息处理系统	142
§ 8.2	模式分类判决	154
§ 8.3	传递性推理	161
附录		170
附录 I		170
附录 II		172
附录 III		173
参考文献		175

绪论

§ 0.1 简要回顾

人类已经经历了手工操作、简单工具、大规模机械化和自动化时代,无疑,今后将朝着智能化方向发展。揭示和利用生物系统的智能奥秘,成为现在和未来最富挑战性的主题,并且已经在不同的科学领域展开。生命科学已经成为当今自然科学的带头学科^[1]。

人类探索脑理论和智能的计算原理已经有很长的历史。在 19 世纪,主要的进展是发现了脑皮层不同位置执行不同的功能;发现了各种感觉皮层、视觉、听觉、触觉、嗅觉和肌肉控制区域的位置,引出了连接子的神经逻辑学说^[173];已经有了区分不同功能的位置区域信息处理的概念;Bain 的联想心理学也指出神经元之间的连接强度能够进行概念的联想^[174]。

在 1900 年前后,脑结构被分得更细,揭示了神经网络和突触的概念。稍后,前苏联科学家巴甫洛夫(Pavlov)建立了条件对反射修正的原理^[175]。

1931 年, Kurt Godel 发表了著名的不完全性定理。在这之后,许多数理逻辑学家寻求概念形式化的道路。递归函数论、Turing Machine(图灵机)和 Lambda 计算(Lisp 语言的基础)在这个阶段建立起来。

在第二次世界大战期间,美国的学者 Wiener 和前苏联的学者 Kolmogorov 在研究防空炮的控制问题中建立了估值和预测理论;英格兰的 Turing 为促进译码工作设计了电子计算机;而在美国,电子计算机的建立是为了进行许多军事上的复杂计算,包括原子弹的设计工作。

1943 年是控制机制和智能自动机结合的一年。在这一年有 3 个突出的成果: Craik 发表了论著 The Nature of Explanation^[176](《解释的本质》),他指出神经系统是能够模拟外界事物的计算机器; Rosenblueth、Wiener 和 Bigelow 发表了论文 Behavior, Purpose and Teleology^[176](行为、意志和目的论),他们根据人类神经系统具有信息反馈的证据,指出神经系统并不仅仅是响应感觉输入的开环反应器件,而是闭环的信息处理系统,通过反馈环控制过程能够说明大脑是闭环的目的(purposive)系统:信息从神经系统传到肌肉,再传到外界,最后回到脑的神经接收器。控制论的这些要素聚集在 Wiener 的著作 Cybernetics^[177](《控制论》)中。

依据 Cajal 的神经元学说和 Sherrington 的兴奋和抑制突触理论, McCulloch 和 Pitts 提出了神经元作为阈值逻辑单元的形式模型^[146]。他们的工作使用了数理逻辑概念,但最主要的激励来自 Turing Machine。他们提供了可计算的生理学,论证了每个图灵机程序能够由一个这样的有限神经网络实施。这意味着电子计算机能做的事情神经元网络也能够做。

1948 年在 Hixon 的讨论会上, John von Neumann 在设计数字计算机原理的过程中体现了 McCulloch 和 Pitts 工作的影响,并扩展了 Turing 的概念。同时, Karl Lashley 分析了串行操作的问题,指出串行操作不能解释行为及认知心理学方法。1949 年 Hebb 出版了 *The Organization of Behavior*^[144](《行为的组织》)一书,提出了用于神经元计算模型的 Hebb 学习规则。

1950 年, Turing 发表了 Turing 实验^[178],他认为计算机具有智能。此时,人工智能作为计算机科学的一个分支开始萌芽并迅速发展。1958 年, Rosenblatt 建立了 Perceptron^[179](感知器)模型,这是第一个问题解决模型,应用于模式分类。然后, Widrow 提出了 ADALINE 模型和它的学习方案^[180]。

1969 年, Minsky 和 Papert 出版了专著 *Perceptron*^[17](《感知器》),该书详细分析了 Perceptron 的性能,并给予否定的结论。现在看来这种否定是错误的,但当时在效果上支持了基于串行计算的人工智能技术。在这个阶段,脑生理结构研究取得重大进展。Hubel 和 Wiesel 在哺乳动物的视皮展发现了简单—复杂—超复杂细胞的分级加工机制^[56,67],此后,视觉信息的多通道概念被揭示^[3],脑皮层被分成更多的功能区域。

80 年代以来,随着 Hopfield^[7,4]、Hopfield 和 Tank^[15]、Hinton 和 Sejnowski^[8,9,22]、Kohonen^[25]、Carpenter 和 Grossberg^[20,26]等人的重要研究工作的进展及 Rumelhart 和 McClelland 的 PDP 专著的出版,再次推动了神经计算或大规模分布式并行处理技术(Massively Parallel Distributed Processing, 缩写为 MPDP)^[1-54,140-172]的蓬勃发展,并且已经遍及众多不同的学科领域(注:本书采用 MPDP 是为了区别于计算机科学技术中的分布式并行处理)。国际神经网络学会和 IEEE 神经网络协会及地区协会的成立,专业学术杂志 *Neural Networks*(《神经网络》)、*Neural Computation*(《神经网络计算》)、*Networks*(《网络》)、*IEEE Trans. Neural Networks*(《IEEE 会刊,神经网络》)和 *Neurocomputing*(《神经计算》)的陆续创刊,以及众多专业学术会议的举行,表明了这个领域正在高速发展。

在人工智能和神经计算的发展初期,均有许多学者抱着不切实际和过于乐观的态度,认为智能计算机和人工脑不久将达到广泛实用。近几十年来,虽然计算机系统技术日新月异突飞猛进,取得了巨大的成功,但是对比之下,人工智能技术,尤其是对人类来说极为简单的感觉信息加工技术,如机器视觉和听觉,却举步维艰^[2]。一些国家曾经雄心勃勃地提出研制智能计算机的宏伟计划,但最终饱受挫折。许多智能问题由于它们容易表达而往往被看得过于简单^[2]。长期不懈的艰苦努力才使人们逐步认识到生物智能的复杂性和艰巨性。神经计算虽然目前处于高潮,但仍然不能盲目乐观。时代决定技术,在生物智能的基本原理尚未阐明之前,它的工程实现是不可能完善的。

§ 0.2 存在问题

MPDP 被广泛重视的原因也许有两个:一是它是从生物系统中总结和归纳出来的,神

经计算是它的同义词。既然智能是来源于生物系统,那么 MPDP 技术就应该对智能问题的解决带来光明;二是它带来新的思维,过去在计算机科学和信息处理领域所遇到的难题,若采用 MPDP 方法就有可能获得突破。例如 Hopfield 的能量函数法^[13]和 BP (Back propagation)学习机制^[22]唤起了许多不同专业学者的兴趣和投入。然而随着研究的深入,人们发现 MPDP 方法并不是万能药,例如在优化计算领域,问题固有的难度并不能降低,仅仅是形式的转化。MPDP 方法所具有的优点如鲁棒性也是需要代价的。加上智能问题本身的复杂性,MPDP 方法的优势表现得并不明显,难怪 MPDP 的反对者在抨击神经计算时说它所解决的均是其它方法能够和已经解决的问题。因此,如何发挥 MPDP 的特长并避开它的短处就成为每个 MPDP 研究者需要考虑的首要问题。

MPDP 的长处和短处是什么?神经计算研究的束缚是什么?众所周知,分布式并行结构是神经系统的基本运行方式。然而,从信息处理的观点出发,我们要问,神经系统为什么要采取这种运行结构?其中深刻的道理是什么?分布式并行结构擅长解决什么形式的问题?不善于解决什么形式的问题?从目前的实现手段来看,MPDP 所需要的计算代价显然是十分巨大的。如果 MPDP 不能表现出自身的长处,则将对今后的发展十分不利。生物神经系统经过漫长的自然淘汰与择优的进化过程,如果分布式并行结构没有其内在的优势,那么它就不应该保留到现在而早已被淘汰。但是,生物学却指出这种结构不是人类特有的,神经生物学的基本原理可以从不同的动物中获取。这足以表明,神经系统的这种基本运行方式有着极强的生命力,在信息处理方面它必定具有特定的实力。这种实力不是体现在算法的水平上,而应当是体现在原理的水平上,因为分布式并行的计算问题仍然能够用串行运行的计算机算法实现。如果说并行仅仅是为了提高运算速度,这种认识恐怕显得肤浅,原因在于这仅仅涉及实现和算法水平。并行计算包含原理和实现两个层次。本书将指出,某些问题在原理上就决定了必须采用并行计算方式。并行计算理论在实现层次上既可并行也可串行,因此,计算原理和实现算法应该区别。MPDP 强调的是原理,而不是实现。

分布式表示和记忆的优势在哪里?在计算机科学领域,符号表示是许多方法的理论基础,这种表示的基本方式是将概念或事物相互独立地集中在各自对应的、不可分的抽象符号中。它的一个突出的问题是:表示本身并不能进一步自我解释它所表示的内容,而分布式表示是将一个概念分布在众多表示而不意义的单元内,每个单元均参与表示且能够指示出各自所代表的这个概念的不同细节的信息。这些单元的意义及其相互关系,能够自我解释概念的组成、过程、状态、环境、意义、原理、行为、目的和关系等诸多方面的内容。因此分布式表示是自解释性表示(Self-understanding representation),具有动态性和理解性的特点。

人的一生所记忆的事物是非常巨量的。就视觉信息而言,要把人的一生所记忆的图像序列存入一个计算机中,所需要的存储量是难以想象的,即使能够存入,这些数据的使用所要求的计算量同样是难以估计的。由此可见,脑系统的存储和计算均是非常有效的,并且它们是合二为一的。既然神经系统中单个连接存储了多种事物的信息^[24],那么单个连接必然刻画了这些不同事物的共性。这就是说,与计算机的存储机理相反,脑系统是存储事物的本质而不是它的表面。可以体会脑的回想和计算机调出存储数据之间的差别,对于一个三维物体,计算机仅仅能够重现它的二维投影图像,而脑所回想的却是该三维物体本身而不是它的表面而投影!Searle 曾给过一个生动的比喻^[54]:当输入一个“马”字时,计算机现解

它是一个纯粹的汉字,而脑却能够想象到现实中的一种动物——马。脑不能像计算机那样精确地拷贝出过去所见到的投影图像,但是却能够回忆它所表示的事物的性质和规律。我们推论:类似于物质是由基本元素组成的原理,分布式存储的机理是分布式存储不同事物的本质基元和组合机理,由这些本质基元的不同组合表示不同的事物,比较它们的差别。换言之,分布式存储反映事物之间的相互关系,强调不同事物之间的共同点,消除冗余度,换取高效率。

当前,神经计算研究的一个热点是将其它学科的原理和神经网络理论相结合,将已有的其它领域的结论搬到神经系统中,或将神经计算理论搬到其它领域。这种做法已屡见不鲜,但却不能从原理上解释神经系统为什么要采取这种大规模分布式并行结构的运行方式,关键点是对分布式并行结构的实力未搞清楚,这是一个长期迷惑不解的理论问题。从目前发表的文献来看,许多学者注重问题的解决,而似乎对大规模分布式并行机制强调得不够,特别是较少讨论 MPDP 的原理问题。本书第 7 章提出的分布式判决分类系统理论是在这方面的一个原理性尝试。

MPDP 是从生物系统中总结出来的,出身的高贵将带来它的优势,同时也不可避免地带来它的缺点,即或多或少地束缚了研究者的手脚。从生物系统中概括出来的有限的数学规律和模型成为框架,限制了研究的自由度。形成强烈对比的是:用计算机科学的方式容易解决的一个简单的问题,若采用 MPDP 方法来解决则往往显得冗长繁复,大有多此一举、故弄玄虚之感。因此,我们应当清楚什么样的问题适合于 MPDP,什么样的问题不适合于 MPDP。将其它领域的方法机械地搬到 MPDP 中并不能促进 MPDP 的发展,因为它不一定适合于 MPDP。在使用神经计算解决的问题中,有些是原理水平的 MPDP 问题,这些问题的特点是它们是在原理上决定了应该采用 MPDP 方式描述;而有些是实现水平的 MPDP 问题,即这些问题仅仅是在实现时利用了 MPDP 方式,但在原理上却不必用 MPDP 方式表示。显然,原理性 MPDP 问题是适合于 MPDP 的。一个系统如果它的原理必须用 MPDP 方式描述,我们则称这个系统为原理性 MPDP 系统。

在 MPDP 研究中,工程科学和生物科学领域之间的关系变得越来越密切。对于人工模型,经常需考虑是否与真实神经系统符合,有没有生理和心理学证据支持等。工程科学研究者需要生物科学研究者提供生命系统中新的规律,而生物科学研究者则要求工程科学研究者提供更新、更精密、功能更强的研究设备和实验仪器,否则新的规律就难以发现。因此,工程科学和生物科学形成相互缠绕的关系,任何一个环节的停顿都将影响到所有环节。单个神经细胞的性质,可以通过微电极等工具测量其电活动和分析其化学过程获得^[6],但是脑的大范围的整体性质就不能采用这种方法获得。可见,等待生物科学的新发现并非良策,MPDP 的研究思路应当扩展,不应限制在它所诞生的圈子里,尤其应强调不同学科的相互渗透。事实上,在 MPDP 的研究中已经大量出现了不同学科的交叉方式^[5,7~9,14~16],无论是在生物科学领域还是在计算机科学领域,均认识到不同知识相互交叉的重要。从计算视觉领域来说,能够作出对本学科发展方向具有重大指导意义的均是些生物和工程交叉研究的科学家。某些原来是生物科学的学术杂志如 *Vision Research* (《视觉研究》),现在也开辟了计算视觉专栏。对于信息科学和工程计算的学者来说,应充分注意生物物理、心理物理和神经生物学等方面的知识和研究成果^[56~73,139,140]。随着人工神经网络研究的逐步深入,越来越多的学者已开始认识到计算模型与生物系统相结合的重要性,因

为智能毕竟来源于生命系统。

§ 0.3 本书内容概述

本书的内容是讨论原理性 MPDP 系统在信息处理方面的基础问题。全书分为 8 章：第 1 章讨论扩散神经系统原理，它是通过与流体粒子的流动扩散性质的类比产生的。扩散系统是一种原理性分布式并行系统，因为扩散过程的原理性描述要采用众多相互关联且具有一定拓扑结构的基本单元的性质。扩散系统的原理是基于作者发表在国际杂志 *Biological Cybernetics* (《生物控制论》) 上的流体神经系统理论^[87]。在这个理论的建立过程中，每个单元被看作一个盛流体的容器，着重讨论连通单元之间的基本性质。第 2 章至第 6 章分别讨论扩散过程的各种性质及其在视觉问题中的应用。扩散过程是大量连通单元的集体行为，但它与物理系统的类比仅仅是定性的。神经系统毕竟与物理系统不同，因为通过分布式参数的变更可以逆转扩散的方向^[132, 133, 135]，但在物理系统中，扩散的方向往往是由外部宏观因素如重力、温度、压力及密度等决定的，扩散方向不能随意改变。因此，利用同时存在的两种相反方向的扩散过程就构成扩散—集中系统，它能够描述一些更加复杂的问题。第 3 章给出了扩散和集中的生物学证据：前苏联生理学家巴甫洛夫认为扩散和集中是脑的高级神经活动的基本规律^[111, 112]；Kohonen 指出^[25]，脑皮层神经元间的连接结构是短距兴奋型和长距抑制型，恰好同时分别执行扩散与集中过程^[132, 133, 135]。因此，本书从神经分子水平上解释了生物学的研究结果，指出了脑皮层侧连接的一个本质作用，将生理学、心理学的一些结果和分布式网络结构统一起来。正是由于使用了流动扩散的物理概念，使得对问题有了实质性的认识。本书将指出：扩散的本质作用在于发现区域的连通性和轮廓的封闭性。这是整体性质的获取，结合物理概念可充分体会到这种整体性质的含义和价值，本书介绍了怎样将该性质应用于早期计算视觉这种典型的整体信息计算问题。我们正是利用该整体性质建立了区域知觉神经系统^[114, 132, 133, 135]和区域整体运动判决系统^[134, 136]，解决了小孔运动模糊问题，突破了计算视觉中整体(复杂)特征运动匹配的传统概念。本书通过几个系列章节详细论述了扩散—集中系统的性质及其在视觉问题中的应用。第 4 章介绍了视知觉组织神经系统理论，包括边界轮廓系统理论和区域知觉理论，以及边界系统和扩散系统的结合作用。为了方便读者阅读和理解这些内容，在 § 4.2 和 § 4.3 首先介绍了视觉生物系统的信息通道和细胞感受野等背景知识。第 5 章和第 6 章讨论了视觉运动信息处理系统，分别包括区域运动和表面运动知觉。

第 7 章提出并讨论了分布式推理判决系统理论和它所擅长解决的 DID 问题。分布式推理判决系统是原理性 MPDP 系统，而 DID 问题是一类更加广泛的原理性 MPDP 问题。

在第 7 章的开始，首先引入一类分布式计算问题，称为 DID 问题。它有两个基本特征：其一是存在众多相互缠绕的判决，每个判决的地位相同，且一个判决的结果是其它判决的决策依据之一；其二是存在判决的分类，且判决的决策和判决的分类也是互为决策依据。DID 问题是从许多智能问题中概括出来的，是一类高度抽象的问题，具有很强的代表性。在该章的最后讨论了 DID 问题的心理学证据。DID 问题并不直观，它往往隐藏在表面现象之后，根据求解 DID 问题的需要，能够解释神经系统为什么是大规模分布式并行的运行方式。因此，DID 问题揭示了许多表面问题的本质要素。

求解 DID 问题的系统(即分布式判决分类系统)称为 DID 系统,它由众多判决、分布式推理和分布式控制等部分组成。DID 系统的动态性质,与认知心理学数据尤其是早期的知觉心理过程相当吻合,并且是该认知过程的计算理论。例如,以“格式塔”学派为代表,许多心理学家依据大量心理实验结果,提出在知觉过程中整体信息的感知领先于局部信息的感知^[54~70]。为什么会出现这种令人费解的实验结果呢?因为从信息的计算角度而言,只能是从局部到整体的过程。这似乎非常矛盾,认知心理和计算理论之间发生了冲突。这个问题在心理学中一直尖锐地存在着,尽管有时被赋予唯心主义的色彩。因此,建立这个心理现象的计算理论并解释其计算过程是颇有意义的工作,DID 系统能够从原理上解释这种心理现象。

在 DID 系统中,任何一个判决均不能首先得到结论(固定不变的判决结果),因为在其它判决尚未得到结论之前,这个判决的结果仍然可能改变。仅当所有判决得到结论之后,该判决的结果才能被认为是结论(直观地说,这类似于进行多方谈判的过程)。由此可见,局部结论的确滞后于整体结论。换句话说,尽管计算过程必须是从局部到整体,然固结论却可以是从整体到局部,虽然每个判决都能得到结论,但结论却是众多判决的集体行为。这是 DID 系统的重要性质,计算和结论应当区分。

在认知心理学中,一个流行的观点认为推理过程是知觉的信息处理方式,推理往往是无意识地(unconscious)进行的^[181],在这方面有许多心理发现和证据。然而,神经系统是执行分布式推理的,因此,建立分布式推理理论并用其解释认知现象就颇有意义。在 1986 年出版的 PDP 专著中,Smolensky 已经对 MPDP 模型与真实神经系统和认知概念进行了比较^[181],如表 0.1 所示。从表中可以看出,Smolensky 利用认知心理已经体会到 MPDP 系

表 0.1

真实神经系统	MPDP 模型	认知概念
神经元	单元	假设
脉冲频率	活性	置信度
去极化的传播	活性的传播	推理
突触连接	连接	概念推理的相互关系
兴奋/抑制	正权/负权	正/负推理关系
去极化的近似相加性	输入总和	证据的近似可加性
脉冲阈值	活性传播阈值	无关信息的独立性
有限制的动态范围	S 形函数	处理强度的有界性

统的分布式推理机制。Hinton、McClelland 和 Rumelhart 也有同样的认识^[5,6,24]。事实上,弱证据之间的推理在认知心理学中是一个长期争论的问题^[78],许多人已经认识到推理机制的存在,然而他们只是停留在感性阶段,没有上升为理论。缺少心理学支持的计算理论是这个机制没有发展的基本原因。例如,Smolensky 陈述认知模式和神经模式的数学描述是相同的^[181],这种思路显然极大地妨碍了分布式推理理论的建立。本书的第 7 章提出了分布式推理理论,它和传统的人工神经系统的数学描述截然不同。由此引出:Smolensky 的认知模式和神经模式的数学描述是不相同的。因此,本书建立的分布式推理理论是一个开拓性的

工作, 它从认知的角度对 MPDP 系统引入了和现有的神经描述不同的表达方式。这个理论也揭示了现有的动力学描述对真实神经系统的表达是不完善的, 正像 Robinson^[19]所指出的, 它只是一种中性描述, 不能解释和回答“怎么样”和“为什么”这样的问题。

Shepherd 也曾经详细地比较了人工神经网络与真实神经网络之间的异同^[21], 如表 0.2 所示。Shepherd 指出, 权值的修正是真实存在的, 然而一个连接却不能在兴奋型和抑制型之间变化, 在真实神经系统中一条连接只取一种类型。这意味着连接类型是确定的, 而连接强度是可以改变的。在人工系统中无法解释这种现实的原因和道理, 但是本书第 7 章的 DID 系统理论却能够给予令人信服的解释。在 DID 系统理论中, 将规则类型和推理强度分开表示, 类型而定而强度可变, 这与真实系统相吻合且能够表述原因。另一方面, Shepherd 特别指出, 现有 MPDP 模式中缺少真实神经系统中突触的输入输出受控及逻辑运算功能, 而 DID 系统理论也能够解释这个功能的意义, 它作为一种关系控制手段, 是分布式控制的基础。这种控制方式非常有用, 能够实现许多功能, 如动态分类。

表 0.2

与真实神经网络符合的项目	与真实神经网络不符合或缺少的项目
神经元动作(速度)较慢	神经元之间的连接性质可以在兴奋性和抑制性之间变化
神经元的数量很多	神经元之间的通信是用数值而不是用脉冲频率
神经元的连接数量是大量的	未包括信息传递的扩散模式
学习是修改连接	没有对神经元的形态类型进行区分
神经元之间的通信靠连接传递兴奋性或抑制性	没有对神经元的发送类型进行区分

DID 系统理论是对大规模分布式并行信息处理理论的一种新的探讨, 具有比较充分的心理学基础。它引出了一些新的问题, 并且其分析方式与传统的方式有很大差别。

本书内容的要点为:

(1) 发现了神经系统的物理性质, 将神经系统与物理系统联系起来, 提出了流体神经模型(第 1 章)。

(2) 建立了流体神经模型的基本理论, 分析了该模型的基本性质(第 1 章)。

(3) 提出了扩散—集中的神经分子水平结构, 建立了扩散—集中神经系统, 利用输理概念和数学手段定性描述了该系统(第 2、3 章)。

(4) 在神经生理和心理学中发现了扩散—集中的支持证据, 实现了在这几个方面不同水平层次的统一(第 3 章)。虽然 Grossberg 也提出了扩散理论^[79~88], 但他没有使用物理概念, 没有发现神经生理学基础, 仅仅利用了视觉心理实验。更为重要的是他没有提出集中机制, 也就没有提出扩散与集中的协同配合机制^[133, 135]。

(5) 利用扩散和集中能够发现区域的整体性质(如区域的连通性和轮廓的封闭性)的特点, 从而实现了图像分割、图形与背景区分和整体区域的运动性质的判决等初级视觉计算问题, 并解决了一些整体计算难点如运动匹配问题, 提出了与过去传统概念不同的新的计算原理和方法(第 2、3、5、6 章)。

(6) 提出了一类新的计算问题——DID 问题。DID 问题是对许多智能问题的高度抽象和概括, 是一类非常重要的基础性问题。利用 DID 问题可以解释 MPDP 的优势和特长。

(7) 提出了分布式推理判决分类系统的概念和理论, 建立了动态关系理论, 提出了矛盾定量分析理论。

(8) 赋予神经结构以新的观点, 扩展了原有神经理论, 指出了人工神经系统的不足, 找到了 DID 问题和 DID 系统理论的认知心理学支持证据, 利用 DID 系统理论解释了一些真实神经结构的意义(第 7 章)。

(9) 利用 DID 系统理论解释和解决了一些初级视觉中的难题, 如运动知觉和结构分类之间的辩证关系(第 8 章)。

本书研究内容的意义为:

(1) 利用扩散和集中的分布式计算结构, 从分子水平上解释了过去生物学的研究成果, 指出了脑皮层侧连接的一个本质作用, 将生理学、心理学的一些结果和分布式网络结构统一起来。

(2) 使用了流动扩散的物理概念, 使我们对问题实质的认识更加深刻。书中指出, 扩散的本质作用在于发现区域的连通性和轮廓的封闭性。这是整体性质的获取, 结合物理概念使我们充分体会到这种整体性质的含义和价值。视觉计算的本质是整体性质的计算, 然而在计算视觉领域, 整体计算问题并没有很好地解决, 利用扩散实现视觉计算是在这方面的一个新的尝试, 并且具有系统性。

(3) 在人工智能领域, 问题表示比问题解决更为重要, 因为问题的表达形式实际上往往已经限定了问题的求解方式。本书提出的 DID 问题是对许多智能问题的一种新的表示理论, 它必定引出新的求解思路。DID 问题是一类概括性问题, 利用视觉运动、模式判别等心理数据能够证明它的普遍存在。DID 问题引出两个思考: 它能够描述什么智能问题? 它的求解方式是什么?

(4) 提出了分布式推理和矛盾定量分析。传统推理(无论是确定的、不确定的和模糊的)的基本方式是将一个事物或概念(无论这个概念多么大和多么复杂)集中表示在一个符号内, 研究这些符号之间的序列(开环)强(即决定现实)推理机制, 将问题求解的思路集中在序贯操作的推理规则之中^[120, 121, 124]; 而分布式推理是要求首先将概念微分成许多基本因素(这些因素分布式表达一个概念, 且概念越复杂, 参与表示的因素就越多), 讨论众多基本因素之间的大规模分布式的闭环和择优的相互弱(不能肯定现实)推理, 并将求解的原理分布在各要素之间。分布式推理的规则相对简单, 但由它们的组合就能够表达复杂的推理活动。弱推理(区别于强推理)的独特性质是推理结果和实际不一定一致(类似于主观意愿和客观现实不一定一致), 这就自然地引出了矛盾和矛盾动力的概念: 矛盾作为根本的动作原因将(依据一定的逻辑规则)发出信息, 控制和改变推理的作用或性质。分布式推理不仅要利用知识, 而且还强调利用矛盾来区分模式和自我改变, 以适应各种不同的复杂环境, 这是分布式推理理论研究的核心问题之一。因此分布式推理必定是闭合的推理系统, 与传统的推理无论在形式上和分析方法上均存在重大差别, 它体现并将最终揭示脑的基本推理机制。目前虽然也有许多文献报导用神经网络求解推理问题^[37~40], 但都属于集中式推理, 仍然滞留在传统的概念中, 这样并不能发挥和体现 MPDP 的优势。

(5) DID 系统理论的一个重大意义, 是它从逻辑推理中再次提示出神经元间的连接具

有定性和定量两种性质,并且它们的确定和改变遵照不同的原理和法则。这个观点是具有生物学基础的。因此,目前神经计算的学习方式是属于定量性质的操作。DID 系统理论意味着神经系统也是分布式控制系统,控制的对象是分布式关系及其作用,它揭示出分布式控制的原理和手段。我们都有这样的体会:同样一句话,在不同的场合其意义和效果将不同。这是由关系的控制机制实现的。在语音和汉字识别中,上下文关系的利用一直是个难题,而 DID 系统理论是分布式关系的利用理论,它能够解决分布式关系的利用,尤其符合文字和语音识别中的规律。因此,DID 系统理论的建立和发展,将有利于揭示许多智能问题的共同的实现原理,并会促进人工智能系统的发展。

目前,神经计算原理和应用的研究受到现有神经模式的很大限制,从心理学和生物物理学及神经科学中概括出的生物神经系统的有限的数学规律束缚了研究者的手脚。特别是如果现在的人工神经计算模型仅仅代表了脑理论的一小部分的话,那么摆脱现有模式的束缚并吸取它的长处,从更高的观点建立新的分布式计算原理就显得十分必要了。