

联想记忆工程

〔日〕 中野 馨 著
卫 作 人



国防工业出版社

73.879

4

联想记忆工程

〔日〕 中野 馨 卫作人 著

国防工業出版社

(京)新登字106号

内 容 简 介

本书重点介绍联想记忆工程的基础理论、实现方法及其各种应用,同时还介绍联想记忆的研究对神经计算机、人工智能的实现所起的重要作用。其内容分为:联想记忆的心理、生理学基础;内容记忆方式的基本思想及实现;联想记忆的基础理论分析;联想记忆工程的一般应用。

本书适合于神经计算机、人工智能(包括模式识别、并行处理、智能机器人等)、计算机科学、脑及神经科学、心理学、生物数学、生物物理等领域的工程技术人员及大专院校有关专业师生参考。

2P86/05

联想记忆工程

【日】 中野 馨 卫作人 著

责任编辑 赵克英

*

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张8⁵/₈ 插页1 189千字

1992年5月第一版 1992年5月北京第一次印刷 印数: 0001—4000册

ISBN 7-118-00860-5/TP·113 定价: 7.90元

前 言

神经网络的研究，兴起于40年代后期，其基本体系形成于60年代后期至70年代初期，进入80年代，这一领域的研究在世界范围内展开，目前它已成为智能化研究中的最重要、最活跃的一个分支。

就智能研究而言，至今有两种观点，一种是从研究人脑及神经网络的基本构造及动作入手，去实现人工系统的智能化，另一种是从研究人脑的逻辑思维出发去制造智能系统。由前者引出的是神经网络方法，后者则是一般所说的人工智能的方法。神经网络研究的必要性，在于它能够揭示出智能的低层构造，这是智能研究的最关键问题，也恰恰是人工智能方法力所不及之处。

本书所介绍的内容，是著者研究神经网络所形成的理论、方法及成果。现在中国在神经网络方面的研究已经起步，而且很有活力。本书的出版，著者最大的希望是对中国智能化研究能起到一定的推动作用。

在本书的编写过程中，本书的主审人大连理工大学的李明慧教授提出了许多宝贵意见，周春梅女士也做了许多整理工作，在此表示诚挚的感谢。

由于著者水平有限，书中难免存在缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

著者

1990年12月于东京

目 录

绪论	1
第一章 联想记忆的初步探讨	5
1.1 人脑模型化及其意义	5
1.2 人脑信息处理的特征	11
1.3 波斯特联想模型	16
1.4 联想记忆的具体化	20
第二章 数学基础知识	24
2.1 矩阵	24
2.1.1 矩阵的定义	24
2.1.2 矩阵的代数运算	24
2.1.3 矩阵的分割	28
2.2 概率	29
2.2.1 概率的一般概念	29
2.2.2 几种重要的概率分布	32
第三章 记忆的心理學及神经生理学基础	36
3.1 联想记忆的心理學基础	36
3.1.1 感觉信息储存	38
3.1.2 短期记忆与长期记忆	39
3.1.3 反复与忘却	43
3.2 联想记忆的神经生理学基础	45
3.2.1 脑的区域划分	48
3.2.2 神经细胞及其活动方式	49
3.2.3 记忆的神经网络	51
第四章 联想记忆装置的构成	54
4.1 联想记忆装置的基本构造	55
4.2 记铭—想起方式及其性质	61

4.3 计算机模拟结果及实例	70
4.4 硬件构成及动作例	74
第五章 记铭——想起特性的解析	83
5.1 联想记忆模型的种类	83
5.2 二值型模型的想起特性	88
5.3 连续型模型想起的正确度	93
5.4 各种模型想起特性的计算及联想记忆模型的性质	97
第六章 联想记忆装置在智能信息处理中的应用	105
6.1 概念形成	105
6.2 启发式思考	112
第七章 连锁性想起与思考	120
7.1 动态联想模型的概要	121
7.2 阈值的引入与时间顺序模式的记忆	124
7.3 兴奋细胞总数的控制	129
7.4 相互想起型	134
7.5 复杂记忆构造探索	135
第八章 联想记忆的应用	145
8.1 视觉认识的产生及自我组织	163
8.2 语言的自我发生系统	172
8.3 运动物体的追迹和认识	175
8.4 运动模式的自我形成	213
第九章 历史回顾与展望	237
9.1 大脑感知模型	239
9.2 科霍恩模型	242
9.3 逆传送模型	244
9.4 霍普菲尔德模型	249
9.5 在神经网络的基础上的联想及学习	254
9.6 展望	262
参考文献	265

绪 论

近年来电子计算机技术已在各个领域得到广泛的推广和应用,不管是研究单位,还是生产部门,甚至一些家庭生活之中,都离不开计算机。目前所使用的电子计算机,其计算速度之快和处理信息准确性等方面有着独特的优点,但在逻辑推理、问题思考等方面,与人脑比较,还有着明显的差距。那么,怎样才能让计算机既会“思考”,又具有“智力”呢?为了解决这些问题,30年来人们进行了各种尝试,并逐步地形成了一门新兴学科——人工智能。

所谓人工智能,就是用人工的方法,让机械具有“思维”能力。其实现的方法,就是把人们平时的思维活动的规律,用数学形式加以定量描述,最后又以各种规则的方式赋予计算机。其原理及其方法并不繁杂,但实现起来亦非容易,特别是大型系统的实现,面临着许多目前还无法克服的困难,有待于进一步开发与研究。

在此,笔者不想罗列人工智能的优点和不足,而是想把读者的视线引到一个新的领域,即神经网络及脑的模型化。也许有些读者对这一领域还感到有些陌生,因此,先从以下几个方面进行介绍:

1. 让机械具有头脑

由以上所述可知,人工智能的产生是为了解决计算机不会思考这一问题的,解决的方法是把人们所理解的人脑的逻辑思维规律加给计算机,但对人脑的构造及其物质基础却毫

不关心。例如，专家系统恰恰是把各位专家的知识汇聚到计算机上，使计算机具有或超过专家的智能，但对专家的知识的基础——人脑，则毫不重视，因此其能力的限界也是显然的。在此，可从另一个侧面去解决机械智能问题，即从研究人脑信息处理的结构这一角度去解决上述问题。大家知道，人脑是一个多层次的复合体，高级思维活动的完成依存于低级脑信息处理过程，更进一步，依存于脑神经的生理活动，从低级的脑神经活动的研究入手，去研究高级的思维活动及其机械的实现，不但符合人类认识世界的规律，而且也是有着十分长远的意义的。尽管从这一角度去研究的机械智能目前还是刚刚开始，但因为它符合认识的客观规律，其强大的生命力是无可否认的。

2. 从人脑的模型化揭开大脑之谜

人类是进化的产物，进化使人类具有了智慧，同时智慧又离不开大脑。那么，为什么大脑会产生思维，会产生各种形式的智力活动呢？这是一个尚未解开的谜。为了了解大脑的构造，解决无数智慧之谜，人们从生理解剖及各种生理实验角度进行了许多研究，但因为大脑十分复杂，在这些实验研究之中往往缺少一种整体的概念，更需要有意义的启发与提示。用工程的方法对大脑进行模型化，不仅会促进机械脑的产生，也会对生理实验研究提供各种有意义的启示。

总之，不论是在工程方面还是在生理学方面，神经网络及脑的模型化的研究，都有着其不可忽视的价值，这种价值越来越被人们所认识。

下面要介绍的正是这一领域的一大重要分支——联想记忆的理论及其应用。早在1969年，日本东京大学工学部教授中野馨（本书的著者之一）就提出了联想记忆装置（ASSO-

CIATRON) 的基本原理, 1972年制作出系统的硬件装置, 获得了日本市村奖, 此后其基本理论在世界上被广泛采用。后来又采用现代激光技术, 制作了光联想记忆装置, 开辟了现代智能化研究的新领域。

下面, 简单介绍联想记忆装置的基本思想:

联想记忆装置是一种学习机械, 它是用现代电子机械技术让机械具有联想记忆能力。大家知道, 目前所使用的电子计算机都是以地址记忆方式进行存储的, 即存取访问是根据其存储地址进行的。而本书所要介绍的联想记忆装置则是以内容记忆方式进行存储。也就是说, 只要是内容相关的事情, 不管在哪里 (与存储地址无关), 都可由其相关的内容被想起。例如, 苹果这一概念, 一般有形状、大小、颜色等特征, 我们所要介绍的内容记忆方式就是由形状 (比如苹果是圆形的) 想起颜色、大小等特征, 而不需要关心其内部地址。这种内容记忆方式与人脑有许多类似之处, 对神经计算机的研究和开发都有很大的理论价值及应用价值。

大家还知道, 目前世界上智能化的研究很活跃, 但大多数都是采用逻辑运算及符号操作使计算机软件具有智能化。此方法在较小规模的情况下是很有效的, 但在大规模情况下则暴露出其本身的不足。例如, 运算速度慢和软件实现困难等。其原因就是目前所使用的计算机, 都是采用顺序处理的方法逐次处理各种信息。而人脑本身却是一个“并行机械”, 即可同时接受许多事情, 并处理其关系, 然后向外界输出。要实现高度智能化, 就必须改变目前的计算机结构, 从根本上解决目前计算机所存在的问题。本书所要介绍的内容, 就是基于这样一个出发点的: 从联想记忆角度去研究实现高度智能化所需要的条件。那么, 为什么要从联想记忆入手去研

究智能的实现呢？因为记忆是人脑的一切活动的基础，失去了记忆人脑就无法正常工作，一些思维活动就会终止，最终也等于失去了生命。因此，联想记忆的研究是智能化研究的最重要的基础，实现了联想记忆就等于实现了“半个大脑”。

本书涉及到大量的脑生理学方面的知识，但本书的主要目的是介绍智能化的机械实现方法，因此省略了联想记忆对脑神经生理学的意义这部分内容。同时，为了使读者能够顺利地弄通联想记忆工程的思想体系，本书尽可能简单的介绍神经生理学及数学基础知识。

第一章 联想记忆的初步探讨

提到联想记忆，人们可能都有自身体验。例如，我们在记英语单词时，常常是用自己已掌握的单词去联想刚接触到的单词。那么，人脑为什么会有联想的能力呢？联想记忆是大脑所特有的机能吗？记忆的机理是什么？联想记忆可以用工程手段得以实现吗？现在，围绕这些疑问进行分析。首先，介绍人脑与脑模型化以及智能化实现三者之间的关系，脑模型化研究的意义，然后再分析大脑信息处理的特征，最后介绍联想记忆的一般特征及其工程方法的实现。

1.1 人脑模型化及其意义

在人工智能、生物工程、生理学及心理学等众多研究领域里，研究人脑信息处理的模式及原理，并用现代工程技术手段实现智能化信息处理是最吸引人的课题之一。自从1943年W.S.麦卡洛克（W.S.McCulloch）和W.H.皮兹（W.H.Pitts）提出第一个神经细胞模型（图1.1）以来，许多生理学家、心理学家在人脑模型化方面做了大量有意义的工作，也相应地出现了许多有价值的模型。例如，美国心理学家劳森布拉特于1960年提出的大脑感知模型（PERCEPTRON），不但在生理学、心理学方面起到了相当大的作用，而且在人工智能方面，也成为模式识别、模式分类的一个重要基础。后来，工程学家马尔（Marr）根据大脑感知模型，运用工程

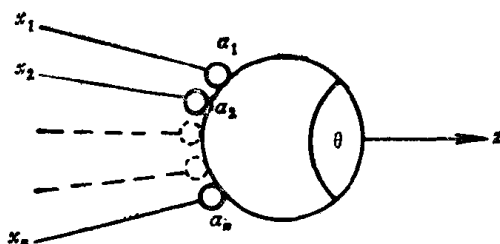


图1.1 麦卡洛克、皮兹的神经细胞模型

学的方法提出了四层结构的大脑感知模型。根据这一模型，国际小脑研究领域的权威人士——日本东京大学医学部教授伊藤正男运用当代生理实验手段，发现了小脑回路网络结构，并提出了小脑大脑感知模型理论，为当代小脑的研究奠定了基础。

那么，人脑模型化对人工智能的发展又有什么意义呢？大家知道，在当今世界上，计算机技术虽然已有了惊人的发展，特别是在进行大量的信息处理方面，已达到了相当高的水平，但在思考、学习、联想记忆等方面，计算机的“智力”不及一个三岁的小孩子。那么为什么目前使用的计算机的“智力”无法提高呢？这是由于计算机的结构已决定了其智能化的程度。若要制造高智能的计算机，就必须从根本上改变其构造。参照人脑的内部结构，模拟人脑信息处理的模式去研制高智能的计算机，则是一个非常现实、非常有效的途径。

前面曾提到过，研究人脑模型主要有两个目的：一是为了研究出智能信息处理机械，二是为了剖析人脑内部结构。前者的含义比较明确，后者的含义可能有些模糊。研究剖析人脑的内部结构，解剖学的方法是一种有效的方法，但不是唯一的方法。采用工程技术手段制作出人脑（可能是部分的、

片面的)模型,通过考察、分析人脑模型的性质及动作原理,从而去推测人脑的类似结构及信息处理特征,从某种角度来看也是一个重要手段。其理由有如下三点:第一,人脑过于复杂,解剖分析十分困难,而且单靠解剖手段,脑的完整的活动原理难以把握;第二,解剖工具有较大的不足之处,尽管已普遍使用微小电极方法去考察神经细胞的活动规律,但神经细胞的细微结构特征仍难以考证,而在进行生理实验的同时,总是不可避免地带来这样的或那样的干扰;第三,从材料上实现有许多困难,人们不可能把一个正常的人脑搬来做生理实验,因此有时是要借助于模型化的研究成果的。从另一个角度来言,虽然一个一个地建立起来的模型有些不足之处,但这类各个侧面各个角度的灵活研究的积累,对弄清人脑的内部结构是十分重要的。把各个方面的模型积累起来,就可能形成一个完整的、更有意义的模型。根据这个完整的模型去推测、去考察人脑,则会发挥巨大的效果。这就是所指的“构造性研究”的方法。这种方法已被用于自然科学的诸多领域。例如,遗传基因DNA(脱氧核糖核酸)的研究,最初是由沃森(Watson)和克利可(Crick)根据X射线照片及其它实验的结果,提出了二重螺旋结构模型,由于这一模型与实验结果很吻合,很快地就被人们所接受。根据这一模型,人们才能够进行更深入的研究。

对于人脑模型化而言,由于目前的技术和实验条件的限制,可能一下子提不出一个十分完美的模型,因此在研究人脑模型化的过程中,必须做各种简单化处理工作。虽然简单化过程十分复杂,有时甚至是困难的,但对于研究而言是有益的。同时简单化又不失去所要研究的问题的实质。显然简单化工作是不会对所研究的问题有什么不良影响的。因为我们研

究模型化的目的并不是去忠实地实现人脑，而是以模型的动作特征及各种可能的情况去推测、考察人脑的内部结构及其信息处理的动作原理。在此可以以J.冯纽曼(J. Von Neumann)的“自身增殖机械”为例来加以解释。虽然该模型不是一个人脑的模型，但这与人脑的信息处理有许多类似之处。这个模

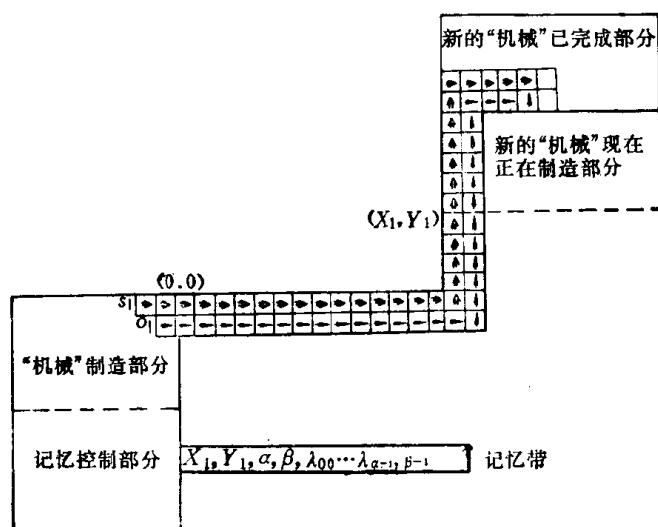


图1.2 自身增殖模型动作图

型的结构及其动作原理（见图1.2）如下：

把一个平面划分成29个格子，即一个格子相当于一个细胞（Cell）。每个格子只与相邻的四个格子相连接，可以把这个平面看作是一个自动机（Automaton）。格子的状态可分为三类：第一类是静止状态，这种状态下的格子未受到任何刺激；第二类是动作状态，这种状态下的格子受到了充分的

刺激；第三类是中间状态，此状态下的格子受到了一定的刺激但不充分。处于动作状态下的格子可以向各个方向传送脉冲信号，并且能进行逻辑和、逻辑积运算。处于静止状态的格子，相对于外部没有动作，但受到脉冲信号刺激后，经由中间状态，变为与此脉冲信号相对应的一个动作状态。另外还可以根据外部的脉冲信号，把动作状态格子“杀死”，使之变为静止状态。冯纽曼模型就是利用这些状态去表现信息处理过程的。“自身增殖模型”的总体图如图1.2所示，“记忆带”(tape)是以“格子连锁”的形式表现的，记忆带上所记忆的符号，被输入到“记忆控制部”以后，记忆控制部与“机械”制造部[这里的“机械”一词是格子状态所表示的模式，与图灵机(Turing Machine)有类似的含义]一起，根据记忆带上的内容，去改变格子的状态。这些格子的状态变化，就像一支手臂一样弯曲、伸直，产生一个“机械”，当然这支手臂也是由格子表现出来的。记忆带里存进什么内容，产生的“机械”就是什么。新产生的“机械”同样还可“生子”。在此，只是为了说明问题，做了许多形象的说明，实际的模型比图1.2要复杂得多。

上述模型虽然与生命体(或叫生物体)相距甚远，而且冯纽曼本人也并非主张这是一个生命体模型。但是，就其信息处理方式而言，向人们显示了“自身增殖”的两种含义，而这两种含义与自然生命体又是一致的，这无疑是一个重大成果。也就是说，若把上述的记忆带看作是DNA的话，那么这种DNA信息可有两种用法：一是做出与自己相同的“机械”(或生命体)；另一个是把这DNA信息复制存入新的“机械”中，因而此“机械”具有新的功能(或者原来所具有的功能完全被改变)，这是一种含义；另一种含义是DNA信息

是由亲辈给予的（即遗传），生物自身无法产生，也无法改变这种 DNA 信息。这样，就完全可以 把生命体看作是一个有机的“机械”，而实现这种有机“机械”的功能，则是可能的。通过上述的“自身增殖”模型而得出了这些有价值的结论，显然是非常有意义的。

人脑的工程技术研究，从大的方面可分为两种途径：一种是根据神经网络的微观结构及性质去构造模型；另一种是从心理学角度出发，宏观（巨视）地剖析脑的机能，用计算机进行模拟，提出巨视模型及其计算机程序，称此为“心理学”模型（或叫人工智能程序）。前者有麦卡洛克和皮兹模型、赫布（Hebb）模型等，后者有塞缪尔（Samuel）的博弈学习程序、启发式定理证明、图形类似性识别程序等。一般而言，生理学模型与信息处理相距较远，心理学模型则与信息处理能巧妙地结合在一起，但并非所有的生理学模型都与信息处理不相关联。例如，赫布模型及大脑感知模型则与信息处理关系很大；联想记忆装置（ASSOCIATRON）虽然属于生理学模型，但比起以前的模型，更接近了智能信息处理这一现实目标（可以说，人工实现人脑信息处理是人类的一个伟大理想）。尽管就结构而言，联想记忆装置与人脑之间存在着较大的差距，但就其功能及其动作而言，若把人脑比喻成一个黑匣子的话，那么可以肯定地说，通过联想记忆装置，我们看到了人脑这个黑匣子内的一丝丝光亮。也就是说，联想记忆装置为我们揭开人脑秘密以及人工实现人脑功能，提供了十分宝贵的线索和可能的途径。更确切地说，联想记忆装置的内容记忆方式的实现，揭示出了人脑记忆的本质，同时也开辟了智能信息处理的新途径。

1.2 人脑信息处理的特征

人脑被认为是一个巨能高效的信息处理机械,那么人脑信息处理的特征及其优点有哪些呢?为了分析这个问题,仍然把人脑与当今的计算机对比。首先应弄清智能信息处理的含义。著名的人工智能专家M.明斯基(M.Minsky)曾说过:“智能信息处理,就是任何人都认为具有智能化的信息处理”。把这句话做为智能信息处理的定义,恐怕是难以被人理解的。事实上,“智能”的含义,是随着时代的变化而变化的。以前,人们看到自动机械(如自动售货机)的动作,便认为这是具有“智能”化的,感到有些不可思议。后来自动控制的机器人的出现,又让人们大吃一惊,于是人们把“智能”一词给了它。再后来,存储程序式电子计算机的出现,使人们的智能化要求得到很大满足,人们认为这是智能化的最高成就,于是把“电脑”一词冠到计算机头上。在今天人们已弄清计算机的结构后,则认为这种数字计算机,不具备智能动作,更不具备智能信息处理的能力。现在若谈到“学习机械”的话,至少要具备启发式思考及创造性解决问题的能力。于是,人们便期待更智能化的机械的出现。由此看来,“智能”一词,是具有很强的时代性的。时代的要求是智能化发展的一个强有力的推动因素。

至于智能信息处理的实现途径,虽然众说不一,但有一点是共同的,就是要以人脑的信息处理模式为样板,去实现类似人脑的智能信息处理。这一观点是不难理解的。众所周知,人是地球上的最高智慧生物,而人的一切之灵魂在于大脑,若实现了与人脑类似的智能信息处理,至少在目前可以说“真