



意识与脑科学丛书

唐孝威 著



一般集成论

向脑学习

ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社



意识与脑科学丛书

唐孝威 著

一般集成论

 ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

一般集成论：向脑学习 / 唐孝威著. —杭州：浙江大学出版社，2011.3

(意识与脑科学丛书)

ISBN 978 - 7 - 308 - 08428 - 4

I. ①—… II. ①唐… III. ①认知科学 - 研究
IV. ①B842.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 024357 号

一般集成论——向脑学习

唐孝威 著

责任编辑 楼伟珊

装帧设计 王小阳

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 北京京鲁创业科贸有限公司

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 640mm × 960mm 1/16

印 张 12

字 数 163 千

版 印 次 2011 年 4 月第 1 版 2011 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 308 - 08428 - 4

定 价 32.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话 (0571) 88925591

前 言

脑是自然界最复杂的系统，脑的活动是自然界最复杂的物质运动形式。当代科学技术的一个重大课题，就是研究和了解脑的工作原理，以及学习和应用脑的工作原理。本书在讨论向脑学习的基础上，提出一般集成论的理论。

考察脑的结构和功能时，可以看到脑具有许多不同的层次，包括分子、基因、突触、神经细胞、神经回路、功能专一性脑区、脑功能系统、整体的脑，以及心智与行为等。在微观和介观水平上，神经系统存在各种不同的集成统一体，如突触、神经细胞、神经回路等；而在宏观水平上则有脑功能系统和整体的脑等集成统一体。

脑内不同层次有不同种类的集成成分，基于它们之间的各种相互作用，构成不同形式和多种功能的集成体。脑的不同层次上存在许多类型和多种形式的集成作用和集成过程。脑内不同层次的集成体进一步集成为统一的、具有复杂结构和复杂功能的整体的脑，涌现出丰富多彩的心智，并且产生多种多样的行为。脑内的集成是随时间发展的动态过程，这种集成过程是通过脑内集成作用以及脑与环境的集成作用实现的。

脑为我们提供了一个研究集成作用和集成过程的“实验室”。本书根据脑的实验事实，从脑的结构与功能集成、脑的信息集成、脑的心理集成等方面，讨论脑内许多类型和多种形式的集成作用和集成过程的特性。我们提出，需要建立一门研究脑的集成现象的特性和规律及其应用的新的学科，可以把它命名为脑集成论。这门学科着重在脑的系统水平

上对脑的集成现象的特性和规律及其应用进行研究。

我们在考察神经系统的集成作用和集成过程后，还提出需要建立一门研究神经系统的集成现象的特性和规律及其应用的新的学科，可以把它命名为神经集成论。这门学科涉及神经系统所有各种层次的集成现象，比较侧重在微观和介观水平上对神经系统的集成现象的特性和规律及其应用进行研究。

我们再把视野从脑转向自然界、科学技术领域和人类社会，可以注意到这样的事实：集成作用和集成过程不但在脑的活动中起重要的作用，而且在自然界、科学技术领域和人类社会中广泛存在。在自然界、科学技术领域和人类社会中，不同层次和不同种类的集成成分，基于它们之间的各种相互作用，集成为不同层次、不同形式的集成统一体，并且在一定条件下涌现新的特性。

自然界、科学技术领域和人类社会中不同领域的集成作用和集成过程分别具有各自特殊的规律，但它们又具有共性，可以用一些一般性的概念来对各种不同的集成作用和集成过程的共性进行统一的描述。

本书在向脑学习以及研究不同领域中相关实验事实的基础上，归纳各种集成作用和集成过程的一些一般性的概念，如优化、全局化、互补、协调、符合、同步、绑定、涌现、适应、同化、集大成、大统一，等等，可以用它们描述各种集成现象的共性。

虽然人们早已有集成的观念，而且也有过对几种具体的集成现象的一些分散的讨论，但是还没有对自然界、科学技术领域和人类社会中的集成现象，包括其中的集成作用和集成过程，进行过统一的、系统的研究。基于自然界、科学技术领域和人类社会中广泛存在各种集成现象的事实，本书提出需要建立一个新的学科，这个学科要研究不同领域中的集成现象，包括其中的集成作用和集成过程的一般性规律及其实际应用。我们把这个学科命名为一般集成论，把它的英文名称命名为 *general integratics*，简称 *integratics*。

本书包括三个部分。第一部分讨论脑的集成现象和脑的集成理论，

介绍脑的一些实验事实，考察脑的集成作用和集成过程，并提出建立神经集成论、脑集成论和仿脑学等学科。

· 第二部分讨论一般集成论。根据不同领域中广泛存在各种集成作用和集成过程的事实，归纳集成现象的一般性概念，提出一般集成论的论点，再说明一般集成论与前人的系统论等理论的联系和区别。

第三部分讨论一般集成论的应用。举出一般集成论在多种领域中应用的例子，例如在生物学和医学中的应用、在心理和行为科学中的应用、在知识创新和学科建构中的应用、在工程技术科学中的应用、在文化教育领域中的应用，等等。

本书作者在神经科学和认知科学领域中是初学者，在工程技术科学和人文社会科学领域中知识很少，书中一定有错误和缺点，请各方面专家对新手的无知给以宽容并且不吝指教，也请广大读者对本书的不足之处提出批评和建议。

本书是浙江省科技厅资助完成的研究成果。

目 录

前言	1
----------	---

第一篇 脑的集成现象和脑的集成理论

第一章 集成的脑	3
1.1 脑的结构和功能	3
1.2 脑复杂网络和脑内通信	9
1.3 脑的活动和能量消耗	13
第二章 脑的集成	18
2.1 脑的结构与功能集成	19
2.2 脑的信息集成	21
2.3 脑的心理集成	26
第三章 神经集成论、脑集成论和仿脑学	32
3.1 神经集成论	32
3.2 脑集成论	34
3.3 仿脑学	36

第二篇 一般集成论

第四章 不同领域的集成现象	41
4.1 自然界的集成现象	41

4.2	技术领域的集成现象	43
4.3	学科交叉的集成现象	45
4.4	人类社会的集成现象	46
第五章	探索一般集成论	49
5.1	一般集成论理论	49
5.2	全局和模块	56
5.3	还原和综合	57
5.4	绑定和联合	58
5.5	重建和优化	59
5.6	临界和涌现	60
5.7	互补和协调	62
5.8	符合和同步	63
5.9	适应和同化	65
5.10	集大成和大统一	66
第六章	一般集成论的特点	68
6.1	在向脑学习基础上发展的一般集成论	68
6.2	一般集成论与专门集成论	70
6.3	一般集成论与系统论等理论的联系和区别	73

第三篇 一般集成论的应用

第七章	生物集成论	81
7.1	生物集成与生物进化	81
7.2	活细胞的集成	83
7.3	人体的集成	86
第八章	心理集成论	92
8.1	心理相互作用与心理集成	92
8.2	意识的集成	97
8.3	认知的集成	102
8.4	心智的集成	105

8.5 心智与行为的集成	110
第九章 知识集成论	113
9.1 知识集成与学科交叉	113
9.2 选择性注意的集成模型	118
9.3 心理学学科体系的集成	121
9.4 认知科学理论的集成	124
第十章 工程集成论	131
10.1 大科学计划的集成	131
10.2 大型实验装置的集成	133
10.3 医学影像技术的集成	135
第十一章 教育集成论	140
11.1 智能的集成	140
11.2 教育内容的集成	146
附录	149
附录一 Sherrington 关于神经系统集成作用的部分论述	151
附录二 一般集成论的由来	154
附录三 本书用词说明	162
参考文献	163
名词简释	175

Contents

Preface	1
 Part I Integration phenomena in the brain and integration theory of the brain	
Chapter 1 Integrated brain	3
1.1 Structure and function of the brain	3
1.2 Brain complex network and communication in the brain	9
1.3 Brain activity and energy consumption	13
Chapter 2 Integration of the brain	18
2.1 Structure and function integration of the brain	19
2.2 Information integration in the brain	21
2.3 Psychological integration in the brain	26
Chapter 3 Neuro-integratics, brain integratics and brainics	32
3.1 Neuro-integratics	32
3.2 Brain integratics	34
3.3 Brainics	36

Part II General integratics

Chapter 4	Integration phenomena in different fields	41
4.1	Integration phenomena in Nature	41
4.2	Integration phenomena in technology	43
4.3	Integration phenomena in cross-disciplinary studies	45
4.4	Integration phenomena in human society	46
Chapter 5	Exploring general integratics	49
5.1	Theory of general integratics	49
5.2	Globalization and modularity	56
5.3	Reduction and synthesis	57
5.4	Binding and association	58
5.5	Reconstruction and optimization	59
5.6	Criticality and emergence	60
5.7	Complementarity and coordination	62
5.8	Coincidence and synchronization	63
5.9	Adaptability and assimilation	65
5.10	Global integration and grand unification	66
Chapter 6	Characteristics of general integratics	68
6.1	General integratics based on learning from the brain	68
6.2	General integratics and special integratics	70
6.3	Relation and difference between general integratics, system theory and other theories	73

Part III Applications of general integratics

Chapter 7	Bio-integratics	81
7.1	Bio-integration and biological evolution	81

7.2	Integration in living cell	83
7.3	Integration in human body	86
Chapter 8	Psycho-integratics	92
8.1	Theory of mental interactions and psycho-integration	92
8.2	Integration for consciousness	97
8.3	Integration for cognition	102
8.4	Mental integration	105
8.5	Integration of mind and behavior	110
Chapter 9	Knowledge integratics	113
9.1	Knowledge integration and cross-disciplinary studies	113
9.2	Integrative model of selective attention	118
9.3	Integration in psychological science	121
9.4	Integration of theories in cognitive science	124
Chapter 10	Engineering integratics	131
10.1	Integration in “big science”	131
10.2	Integration of large scale experimental facilities	133
10.3	Integration of medical imaging techniques	135
Chapter 11	Education integratics	140
11.1	Integrated intelligence	140
11.2	Integration of contents of education	146
Appendixes	149
References	163
Glossary	175

第一篇 脑的集成现象和 脑的集成理论

脑是自然界最复杂的系统，脑的活动是自然界最复杂的物质运动形式。根据脑的大量实验事实，可以了解脑内的集成现象，并且研究脑的集成理论。

这一篇从脑的实验事实出发，说明脑是集成的统一体，并且进一步考察脑内存在的各种形式的集成作用和集成过程。在此基础上，提出建立一门研究脑的集成现象和原理的学科——脑集成论，同时还提出建立神经集成论和仿脑学两门学科。

这一篇的第一章讨论集成的脑，第二章讨论脑的集成，第三章提出神经集成论、脑集成论和仿脑学。

第一章 集成的脑

我们首先来考察自然界最复杂的系统——人脑。

脑具有层次性结构：从生物大分子、基因、亚细胞结构、神经细胞（神经元与神经胶质细胞）、神经元簇、神经回路到功能专一性脑区、脑功能系统和脑的整体。脑内这些不同层次的结构和它们的功能是脑整体活动的基础。对于脑这个复杂系统，需要从各个层次来研究其结构、功能和工作原理。

脑的复杂性不但表现在脑的层次的复杂性、脑的结构的复杂性、脑的功能的复杂性、脑内网络的复杂性、脑内通信的复杂性、脑和环境相互作用的复杂性，而且表现在丰富多彩的脑的高级功能——心智现象的复杂性以及人的行为的复杂性。

这一章讨论集成的脑，从脑的结构和功能、脑复杂网络和脑内通信、脑的活动和能量消耗等方面介绍脑的一些实验事实，说明脑是集成的统一体。

1.1 脑的结构和功能

脑的许多层次可以大致划分为微观、介观和宏观三个不同的水平。从小的方面到大的方面看，微观水平包括分子、亚细胞结构和神经细胞，介观水平包括神经元簇和神经回路，宏观水平包括功能专一性脑

区、脑功能系统和脑的整体。这里所说的微观和物理学中微观的含义不同，是指分子和细胞。

脑内这些不同水平的神经结构具有不同的空间尺度。脑的微观水平、介观水平和宏观水平神经结构的尺度相差很大，例如神经细胞的细胞体的数量级大致是 10^{-6} 米，功能专一性脑区的数量级大致是 10^{-2} 米。脑内这些不同水平的神经结构的的活动过程具有不同的时间尺度。脑的微观水平、介观水平和宏观水平的神经活动过程的时间尺度相差很大，例如神经元电脉冲的数量级大致是 10^{-3} 秒，脑功能系统活动的数量级大致是 10^{-1} 秒。

在实验上可以用多种技术研究脑的这些不同水平的结构和功能，例如分子神经生物学技术、神经遗传学技术、神经解剖学技术、神经电生理技术、显微成像技术、脑结构成像技术、脑功能成像技术等。

脑功能成像技术用于脑的宏观水平的功能研究，能够对脑的功能活动进行无创伤的、动态的成像，如功能核磁共振成像 (fMRI, functional Magnetic Resonance Imaging)、单光子发射断层成像 (SPECT, Single Photon Emission Computerized Tomography)、正电子发射断层成像 (PET, Positron Emission Computerized Tomography)、脑电成像 (EEG, Electroencephalograph) 和事件相关电位测量 (ERP, Event-related Potentials)、脑磁成像 (MEG, Magneto-encephalograph) 等。

神经科学在实验上对脑的结构和功能进行过广泛的研究，不断取得新的进展，因此目前对脑有了相当多的了解 (Purves et al 1997, Gazzaniga et al 1998, Kandel et al 2000, 陈宜张 2008)。但是由于脑非常复杂，不清楚的问题至今还很多。

从微观水平来看，人脑大约有 10^{11} 个具有多自由度的神经元和数量更多的神经胶质细胞，神经元之间形成约 10^{14} — 10^{15} 个突触联结。神经元有细胞核、细胞质、细胞膜和细胞骨架。神经元的细胞膜是镶嵌蛋白质的脂双层，膜上有许多由大分子蛋白质构成的复合体，如受体及离子通道。离子通道是细胞内外离子穿越细胞膜的通道。

神经元内部含有各种神经递质和神经调质。神经递质是在神经信号传递中起作用的化学物质，它们的种类很多，如乙酰胆碱、L-谷氨酸等。神经调质是调节神经细胞生化反应的化学物质，它们的种类也很多，如多巴胺、去甲肾上腺素等。

神经元具有多种多样的形态。它们有细胞体和许多分支结构：有大量的小分支即树突，神经元通过树突接收神经信号；通常有一根细长的纤维即轴突，神经元通过轴突传出神经信号。轴突有传导神经信号的功能，树突在神经信息处理中也有重要作用。张香桐（1997）很早就研究过树突的生理功能。

突触是一个神经元和另一神经元相互作用的部位。神经元通过大量的突触和其他神经元相互作用，一个神经元平均形成 10^3 — 10^4 个突触联结，因此神经元之间构成非常复杂的神经网络。突触部位具有动态性和可塑性，在神经信息处理中起重要的作用。

脑内神经胶质细胞的数量大约是神经元数量的十倍，它们不但对神经元起支持和营养作用，而且对神经元的活动起调节作用，影响神经元的功能。此外，神经胶质细胞释放的分子调节脑血管的收缩与舒张，使局部脑血流量的供应与神经活动的水平相适应（段树民 2008）。

脑的介观水平的神经结构和功能介于微观水平和宏观水平之间，是由微观水平过渡到宏观水平的桥梁。一些神经元和神经胶质细胞连接成介观的神经回路。神经回路的研究是当前神经科学研究热点之一。实验上对神经回路的分子和细胞机制以及神经回路的功能和可塑性进行大量研究，理论上神经回路的许多模型。弗利曼和 Liljenström 等对脑的介观水平的神经动力学有过专门的研究（弗利曼 2004；Liljenström, Århem 2008）。

从宏观水平来看，脑处于颅腔内，受到脑膜的保护，脑内有血管分布和血液循环，为脑正常的生理活动提供养料和带走废料。脑有复杂的结构，由大脑、间脑、中脑、小脑、脑桥、延髓等部分组成；中脑、脑桥和延髓合称脑干。脑和脊髓是神经系统的中枢部分，它们和周边神经