

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学 号: 200240012

UDC_____

厦 门 大 学
硕 士 学 位 论 文

基于异构神经网络的短时记忆建模

Short Time Memory Modeling based on Isomorous
Neuron Network

张 克 志

指导教师姓名: 周 昌 乐 教授

专 业 名 称: 计 算 机 应 用

论文提交日期: 2005 年 5 月

论文答辩日期: 2005 年 6 月

学位授予日期: 2005 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2005 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

目前对神经生物学方面的研究已经深入到突触、离子通道甚至大分子水平，根据大量的神经生物实验，离子通道电导特性相同或相似的神元在长期的同步发放过程中能够形成对外界输入特征相适应的某种稳固连接回路。在此基础上本文提出了同构神经元簇的概念并对其进行了分析，发现其具有良好的动力学特性，可以作为本文模型的网络拓扑节点。另外在价值散射系统基础上本文提出价值激活因数和价值因子的概念，在模型中它们能够调节同构神经元簇发放序列的同步化过程。结合对以往记忆模型的分析，本文提出了一个基于价值散射机制的异构神经元网络模型。该模型以同构神经元簇作为网络节点，在拓扑结构方面充分考虑了神经生物学方面的特征，对于外界输入特征，模型能够收敛于相应的价值激活因数，从而形成相应的同构簇同步发放序列。最后本文提出了一个基于异构神经元网络的短时记忆再现的算法，通过设定相应的学习规则和发放规则，模型能够形成与外界特征相适应的同构簇同步发放序列；根据仿真结果，发现该模型具有良好的神经生物学特征。

关键词： 同构神经元簇；价值散射系统；异构神经元网络；短时记忆再现

Abstract

Nowadays neurobiology research has reached the field of synaptic, ion channel and molecule. According to many neurobiological experiments, certain stable circuit can develop during the neurons' adaptation to external input stimulus, and those neurons in the neural circuit have the similar characteristic on the ion channel conductance. On the basis the paper provides the concept of isomorphic neuron cluster and analyzes it, and discovers the excellent dynamic character of isomorphic neuron cluster. On the side, the paper has also brought up the concept of value active factor and value factor, which can adjust the synchronization of isomorphic neuron cluster firing sequence. With a view to the previous memory models and neurobiological character of memory, an isomeric nerve network model on the basis of value dispersing mechanism has been brought up. On the one hand, isomorphic neuron cluster is regarded as the node of the model, on the other hand the model can converge certain factor and cause the corresponding isomorphic neuron cluster firing sequence. At last an arithmetic of short time memory on the basis of isomeric nerve network has also been brought up and the corresponding firing and learning rules are established too. On the basis, some simulations on short time memory recurring have been done, and the results show the excellent dynamic character of the model and the short time memory recurring neural mechanism.

Key words: Isomorphic neuron cluster; Value dispersing system; Isomeric nerve network; Short time memory recurring

目 录

第一章 前言.....	1
第二章 短时记忆研究的方法.....	3
2.1 短时记忆研究的意义和遵循的原则.....	3
2.2 基于神经生物机制的神经网络建模意义.....	4
2.3 本文的创新点.....	5
第三章 同构神经元簇.....	6
3.1 同构神经元簇的生物学依据.....	7
3.2 同构神经元簇特征.....	9
3.3 同构簇参与同步化发放过程.....	10
第四章 基于价值散射机制的异构神经网络模型.....	13
4.1 异构神经元的生物学依据.....	14
4.2 异构神经网络的设计原则.....	17
4.3 异构神经网络模型.....	19
4.3.1 模型的工作示意图.....	19
4.3.2 模型的拓扑结构.....	22
4.4 异构神经元的特征.....	23
4.5 异构神经元的动力学描述.....	25
第五章 异构神经网络中的短时记忆建模.....	30
5.1 与以往记忆模型比较.....	30
5.2 短时记忆.....	35
5.2.1 记忆的分类.....	36
5.2.2 短时记忆与工作记忆的区别.....	36
5.2.3 短时记忆再现.....	39
5.3 模型的总体思路.....	40
5.4 价值散射系统参与短时记忆再现过程.....	41
5.4.1 价值散射系统与分布式同构簇的交互过程.....	41
5.4.2 价值散射系统的发放原则.....	42
5.5 同构簇发放序列算法.....	48
5.5.1 神经生物网络拓扑图.....	49

5.5.2 同构簇发放序列算法描述	50
第六章 模型仿真	58
6.1 输入特征描述	58
6.2 仿真结果及分析	59
6.2.1 仿真结果描述	59
6.2.2 仿真结果分析	62
第七章 结束语	64
7.1 总结	64
7.2 未来可深入研究的问题	65
参考文献	67
研究生期间所做的工作	72
致谢	73

廈門大學博碩

Contents

Chapter 1. Introduction.....	1
Chapter 2. Methods of short time memory.....	3
2.1 Significance and principle of short time memory research	3
2.2 Significance of NN modeling based on neurobiology	4
2.3 Innovation of the paper.....	5
Chapter 3. Isomorphic neuron cluster.....	6
3.1 Evidence of isomorphic neural cluster.....	7
3.2 Character of isomorphic neural cluster.....	9
3.3 Synchronization firing of isomorphic neural cluster....	10
Chapter 4. Isomeric nerve network model based on value dispersing mechanism.....	13
4.1 Neurobiological evidence of Isomeric nerve network	14
4.2 Designing principle of Isomeric nerve network.....	17
4.3 Isomeric nerve network model.....	20
4.3.1 Sketch map of the model.....	20
4.3.2 Topology structure of the mode.....	23
4.4 Character of Isomeric nerve network.....	24
4.5 Dynamic of Isomeric nerve network.....	26
Chapter 5. Short time memory recurring based on Isomeric nerve network model.....	31
5.1 Comparing with the previous memory model.....	31
5.2 Short time memory.....	36
5.2.1 Category of memory	37
5.2.2 Difference between short time memory and working memory.....	38
5.2.3 Short time memory recurring.....	41
5.3 Idea of the model.....	41
5.4 Value dispersing system and short time memory recurring.....	34
5.4.1 Interaction between value dispersing system and dispersing isomorphic neuron cluster.....	42
5.4.2 Dispersing principle of value dispersing system....	43
5.5 Arithmetic of isomorphic neuron cluster firing sequence	51
5.5.1 Topology of nerve network.....	52

5.5.2 Arithmetic	54
Chapter 6 Simulation.....	61
6.1 Description of input character.....	61
6.2 Simulation and analysis.....	62
6.2.1 Simulation results.....	62
6.2.2 Simulation analysis.....	65
Chapter 7 Tag.....	67
7.1 Summarization.....	67
7.2 Farther research in the future.....	78
Reference.....	70
Other work.....	76
Acknowledgment.....	7

第一章 前言

大脑的工作机制及意识现象是目前人类所面临最具有挑战性的科学难题之一^[1]。一直以来人们采用各种方法试图搞清楚大脑的奥秘，虽然取得了很大的进步，但是仍有很多问题没有给出令人信服的阐述。

自从 19 世纪，人类对大脑进行了不同程度的研究。在相当长的一段内，心理学研究方法曾主导对大脑的研究，直到今天它仍是一个重要手段，因为只有通过观察才知道机体在做什么。但是心理学研究大脑的工作机制具有一定的局限性：它总是把大脑当作黑箱来对待，实验者研究黑箱的输入输出关系，由此演绎出黑箱的内部结构与运转过程；这种方法的困难在于，几种对立的假说都可以完好地解释所观察到的结果。19 世纪中叶脑研究的一些先驱者已经开始试图进入这个黑箱，他们利用脑的某一特定部位因疾病或损伤受到破坏的病例观察其行为上的明显缺陷，从而获得了关于大脑的重要信息。然而真正对黑箱揭示始于 19 世纪末，大量的研究工作促使神经解剖学和神经生理学两大分支的形成。到本世纪 50 年代末，这两大领域都取得重大进展，人们对神经活动的基本过程有了基本了解。在生理学方面掌握了神经元的电学性质，神经冲动的发生传导规律及化学突触的传递特性；在形态方面进一步了解了神经元之间连接规律和神经回路组织具体形式。随着研究的深入，人们引入了一个崭新分支——细胞生物学和分子生物学。一些实验手段如细胞记录技术、染色技术、膜片钳技术、脑薄片技术、分子分析技术、钙荧光技术等得到应用，从此人们对大脑的认识开始深入到了离子通道、大分子水平^[2]。

随着认识的深入，神经科学的中心课题也逐渐发生了变化。在 50—60 年代，人们的兴趣集中在单个神经元的活动方式及它们之间相互联系的方式上；在七十年代，研究的重点转移到不同类别的神经元所构成的

不同功能单位是如何在神经网络中一起活动的；在八十年代，要求解决局部神经网络是如何组装起来构成规模宏大的神经系统，从而实现像认知、运动控制、情绪记忆等高级功能；从九十年代到现在，围绕着意识的神经相关物^[3,4] (neural correlate of consciousness) 这一热点问题，在事物的内部表象、特征绑定、注意、神经编码等方面展开了积极研究^[5]。

虽然目前对大脑的研究在神经活动方面有了比较深入的认识，但就本质而言它是一种还原论分析，并不能完全解释大脑的高级认知功能。正如东京大学医学教授伊藤正男所说：“在揭示单个神经元活动方式及神经元及神经元之间相互联系的方式取得巨大成功之后，神经系统仍有大量问题有待于人们去认识”。例如我们如何感知世界、如何运动、如何产生情感。如果将这些高级认真功能还原成局部的神经网络或者在简单的系统中还原成基本的过程、基本的细胞和分子事件，并不能反应出神经活动的本质。因而在细胞和分子水平的基础上采取整合的观点对脑功能及其工作机制的分析是必须的。随着物理学、认知心理学、数学、计算机科学及复杂系统学等学科引入到该领域，促进了计算神经科学的产生，一种从系统水平按照自顶向下 (top-down) 的研究方法正在运用到脑的研究领域。

当前各国对大脑的研究的重视程度正在逐步增加，并提出了相应的发展规划。美国在 1989 年提出了“脑十年的决议案”，欧洲各国在九十年代也提出了相应的脑发展规划。1996 年日本科学技术厅提出了“脑科学时代—脑科学研究推进计划”，正式提出了“了解脑、保护脑、创造脑”的口号，并指出“了解脑也就是了解人类本身”^[6]。在韩国也提出了脑神经信息学研究规划，目前这些国家对大脑的研究都取得了很大的进展。新的脑研究热潮正在这些国家兴起。

第二章 短时记忆研究的方法

2.1 短时记忆研究的意义和遵循的原则

当前脑的功能和结构是人类面临的最复杂问题之一。脑作为中枢神经系统的中心，是一个信息加工系统，而信息加工过程又离不开记忆的参与。记忆在人的智能活动中占有突出的位置，记忆力也是人的智能水平的重要标志之一。而在记忆过程中，短时记忆是记忆的一个重要现象，相对于瞬时记忆和长时记忆而言，它持续时间数分钟，在这段时间内特定的神经信息在有关神经通路中往返传递，其化学机制可能是关键大分子的可逆性构像变化^[7]，目前大量的实验表明记忆与海马结构密切相关^[8,9]。短时记忆一个典型例子就是我们在查到一个新电话号码后，在拨完电话就忘了。短时记忆包括记忆存储、学习、再现、遗忘、等过程，经过对外界事物的不断学习，短时记忆逐渐转化为长时记忆，因而研究短时记忆对于研究记忆整个记忆过程乃至意识现象至关重要。一方面深入研究记忆的神经生理基础，可以提高人对自身智能活动的认识，同时也会为有效智能信息处理系统的建立提供理论基础，另一方面通过对短时记忆进行合理的建模研究，可以对实验发现提供进一步的理论支持，同时可以掌握了研究复杂问题所需要的建模理论和方法。

本文以短时记忆为研究对象，结合神经生物学和心理学特点对其进行研究，因而在建模过程中应该遵循以下三个原则：

1. 基于现有的神经生物实验发现，对大脑的工作机制进行合理解释；
2. 应该将短时记忆和注意机制综合考虑，提出一个完整有效的模型；
3. 采用了现有的最新建模方法对短时记忆进行分析；
4. 在说明脑的工作原理和生理机能的基础上阐明短时记忆的具体机制；

2.2 基于神经生物机制的神经网络建模意义

每个事物都有其自身的运作规律，大脑作为一个复杂系统，其工作机制更为复杂，在对这样一个巨系统研究过程中更需要一种合理的方法。目前对于大脑的研究已经有了大量的神经生物学实验发现，如何从这些实验发现中选取有效的数据，并在此基础上进行相应层次上的建模，对研究大脑的工作机制具有重要意义。但同时应该清醒的看到，复杂的意识现象并不在于单个神经元的表现行为。例如人们对神经元的形态及功能有了很多的实验数据，但是单个神经元可以完成的任务比人们过去所想象的复杂的多，也精确的多^[10]。因而从神经生理性的角度出发，进一步探索神经元的时空行为具有深远意义，它对建立一个合理的短时记忆模型尤为重要。同时如果在建模过程中能够运用一种与神经生物实验发现相一致的方法对短时记忆进行建模，那么该模型就能够反应出短时记忆的工作机制，它的仿真结果也能对生物实验数据做进一步的验证，因而一个有效的模型和实验发现在大脑的研究中能够互相促进。

在基于神经生物机制的意识建模过程中有两种方法，一种是自下而上（bottom-up），另一种是自上而下（top-down），这两种方法都是以神经生物学上的发现为依据；前者研究的基础是神经生理学实验中的功能区域和功能柱等宏观层次上的发现，后者则集中在离子通道、突触、神经元等微观层次上的实验发现。这两种方法虽然都是基于生物机制对大脑的工作机制进行建模，但都存在一定的局限性，前者对于微观上的实验细节缺乏足够考虑，后者则在宏观层次上有所欠缺，因而这两种建模方法并不能够真正反应脑的工作机制。在建模过程如果能综合不同层次的实验发现尤其是神经心理学实验，则可以为构建一个完整有效的模型提供强有力的支持，使其仿真结果更能够反应出大脑的工作机制。本文基于脑研究领域的众多实验发现并提出一种有效的方法对短时记忆进

行建模。

2.3 本文的创新点

考虑到以往的记忆模型，本文在建模过程中提出了以下几点创新：

1. 在对 top-down 和 bottom-up 两种传统建模方法分析的基础上，提出了一种新的建模方法，即从中观层次上对短时记忆再现进行研究；
2. 基于神经生物学特征，提出了同构神经元簇的概念，并在此基础上提出了异构神经网络模型；
3. 从系统层次上将短时记忆的研究和注意机制结合起来，提出了价值激活因数的概念，对短时记忆再现的动力学涌现行为进行描述；
4. 以异构神经网络为模型，提出了一种全新的短时记忆再现算法。

第三章 同构神元簇

在记忆建模过程中，采用何种建模方法直接影响到模型是否能够反映短时记忆工作的生物学机制。目前主要包括top-down和bottom-up两种方法，其中前者强调意识的研究应该还原到神经生物层次，代表人物包括Crick^[11]，他认为人的所有心理活动“实际上都只不过是一大群神经细胞及其相关分子的群体行为，这种用还原论观点来说明人脑的复杂功能(意识问题)有点简化。不管怎样人脑不是神经细胞杂乱无章的堆砌，它是众多神经细胞构成异常精巧、层次分明的有组织的功能系统。这功能系统的形成是长期进化过程的产物，也是个体发育过程中学习的结果。因此把意识问题还原成神经细胞的行为表现有些过于机械和生硬；而第二种建模方法主要强调通过大量的神经生物试验数据来建立意识模型，尤其是一些神经生理学家做了大量相关的试验并提出了部分模型，其中在微观层次上以H-H模型^[12]和离子通道隐含的马尔可夫模型^[13]，以及在宏观层次上根据神经回路的连接特点提出的Hopfield模型^[14]，这些模型部分的解决了人脑记忆的工作机制（如联想记忆、存储机制）。虽然上述模型在不同层次上很具有代表性，但是也存在一定的缺点：微观层次上的模型虽然模拟了离子通道的工作机制，但是没有结合宏观层次上意识行为；而基于神经网络的建模又忽略了神经元内部的工作机制，它们对把网络中的神经元看作是功能完全一致的静态节点，该类神经网络对外界刺激的响应仅是通过修改神经元之间连接的权值来实现，而且关于局部最优解问题和收敛速度等在时间复杂度方面解决的并不很好；事实上这种对外界激励学习过程并不一定要发生在突触权值的变化上，而是与神经元的内部状态有关^[15]。

考虑到两种建模各有一定的优点，本文以大脑的神经生物学特征为

基础，将两种建模方法综合起来考虑，提出了一种中观层次的新型建模方法。

唐孝威等^[16]在研究大脑的编码机制时，根据神经系统处理信息的多样性、鲁棒性、层次性等特点，提出了神经元簇的概念。它认为神经元簇是由一群功能及定位都比较接近或相关的神经元构成；基于神经元簇（元）构成的异构网络对不同的最优刺激有着专一的最强烈表达方式；同时对其他刺激的反应随该刺激和最优刺激间的差距增长而减弱。

本文提到同构神经元簇是在神经元簇概念的基础上提出的。同构神经元簇更强调了对不同特征激励响应的遗传机制，并按照一定的拓扑结构，将一群功能相同的神经元通过优势扩大机制来调整附近功能相似神经元（簇）的内部离子电导特性来适应外界最优激励。通过对动力学特征的分析，发现其具有很好的动力学特性^[17]。

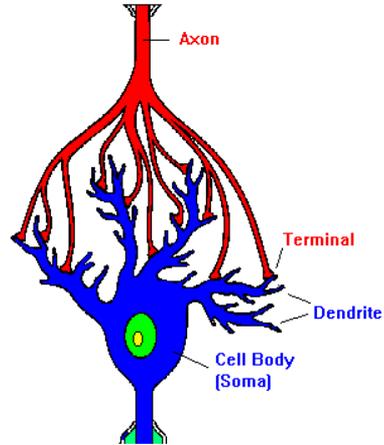
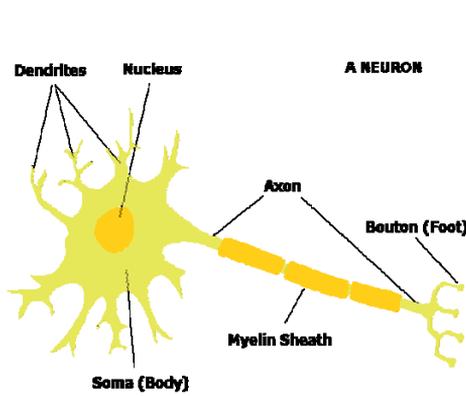
3.1 同构神经元簇的生物学依据

根据同构神经元簇的定义，它是由一群离子通道电导特性相同或相似的神元根据格式塔原理^[29]构成的集合。目前对于神经元的研究已深入到超微观层次。研究发现神经元内部结构及神经元之间的连接方式存在很大差异^[18]，这主要表现在以下一些方面：

- ◇ 神经元的树突可以达到数千个，而且离子通道也很多，如图 1 (c)；
- ◇ 根据神经元突触形成的位置划分，可分为轴—树、轴—体、轴—轴、树—轴、树—体、树—树等不同类型，如图 (b)；
- ◇ 根据离子通透性的种类划分，可分为 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 等离子通道；如图 1 (d)；
- ◇ 根据离子通道电化受控方式不同，可分为电压门控型离子通道和配体门控型离子通道^[5]；
- ◇ 根据配体对离子通道的作用方式不同，可分为直接受体—通道耦联

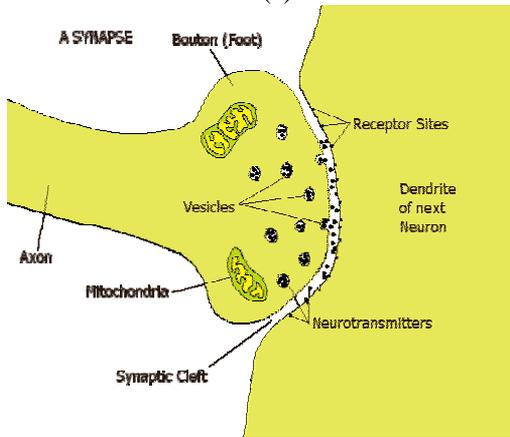
系统、G 蛋白介导的受体—通道耦联系统、第二信使介导的受体—通道耦联系统；

- ◇ 根据 Ca^{2+} 离子通道对不同递质分泌的作用不同划分，可分为 P、L、N 型离子通道等；

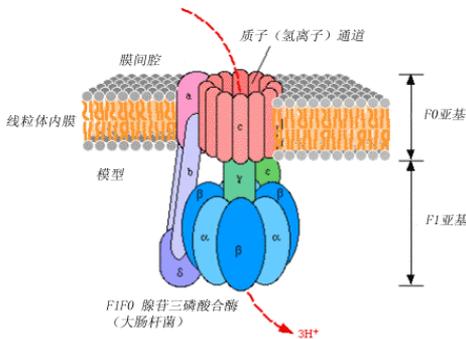


(a)

(b)



腺苷三磷酸合酶



(c)

(d)

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

廈門大學博碩士論文