

电子科技大学

UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND
TECHNOLOGY OF CHINA

计算神经科学综述报告

Computational Neuroscience Review Report



课程题目:	计算神经科学综述报告
专 业:	电子信息
姓 名:	郭元洪
学 号:	202122140307

计算神经科学综述报告

摘要:人脑是目前最为复杂的系统之一,其神经元数量众多,相互作用模式复杂。随着各国脑计划的实施,计算神经科学领域的研究更加火热了。神经元的数学建模也多种多样,例如 IF 模型、HH 模型。计算神经科学是一个交叉学科,从神经元的工作模式中发展而来的脉冲神经网络,应用在相应的领域,推动这人工智能的发展。计算神经科学需要进一步的发展,大脑背后的机制需要被进一步的探究,发展适合分析神经元模型的数学方法,可以更好的了解神经元工作机制。根据真实的神经元工作模式,进一步发展现代神经网络模型,以便于更好服务现代社会,将其应用在各行各业。

关键词: 计算神经科学, IF 模型, HH 模型, 脉冲神经网络

1 引言

人类的大脑是目前为止最复杂的系统之一,其神经元数目多达一千亿,并且神经元之间的连接也是极其复杂的。研究人类大脑的工作机制,已成为当今世界的热点,同时以研究大脑为目的神经科学领域也在自然科学领域变得活跃起来。同时当今做火热的机器学习和深度学习也是从神经科学中获得灵感,并根据神经元的结构和规律设计了人工神经网络。计算神经科学是近三十年来出现的新兴的交叉学科,人们希望通过运用数学对神经元建模,从而更加深入的了解神经元的工作机制,另一方面做神经科学相关的实验可以更好的帮助我们建立数学模型,算法等^[1]。随着该领域的深入发展,欧美以及我国都相继推出脑计划,说明各个国家都十分重视这个领域,希望对人脑更加深入的了解。计算神经科学这门学科更像是一座桥梁,连接着大脑神经科学和类脑人工智能这两大领域,凸显出计算神经科学的交叉性与前沿性。推动计算神经科学的发展相应的会带动数学、计算机、人工智能的发展。如今,可以通过多种手段获取大脑影像。比如,我们可以测量脑电信号,以及可以通过核磁共振影像技术可以宏观的多模态的获取大脑结构和功能等画面。

计算神经科学主要研究以下的问题。1) 神经活动的基本过程,如神经元离子通道的调控;突触传递及调控。2) 神经元计算模型。3) 学习和记忆的神经机制,神经系统受环境等因素的作用导致神经元结构和功能的改变,这种改变是学习和记忆等高级功能的基础。

2 研究现状

神经元可以被分成三大部分:树突(dendrite),神经细胞体(soma)和轴突(axon)。树突负责把从其他神经元送来的信息传输到神经细胞体,神经细胞体会累积这些输入,如果累积的输入达到了它的阈值,那么它就会产生一个输出信号,通过轴突传输给其他的神经元。神经元内部和神经元之间的神经信号称作动

作电位。Hodgkin 和 Huxley 在 1939 年首次记录到了神经细胞内的动作电位，并于此后 1952 年发现动作电位的产生和神经元细胞膜上离子通道的开放有关。神经元的极性是指树突是信息的接受端，为输入极；另一端的轴突是信息的输出端。树突和轴突分别向其靶方向的细胞生长并建立突触联系。电活性是神经细胞膜的特性，决定神经元对刺激的反应、换能和传导，表现为在静息膜电位基础上产生的去极化、动作电位传导和复极化过程；而化学活性参与神经元之间的信息传递，表现为神经递质的合成、运输、分泌和重吸收或灭活。

神经元模型一直是广大学者研究的热点。IF 模型作为一种最简单的神经元模型，忽略了很多生物细节，关注于模拟神经元的基本放电和亚阈值活动特性，经常被用于大规模网络上的神经动力学模拟。HH 模型是一个相对复杂的神经元模型，其四维非线性微分方程描述了神经元在离子进出细胞膜时的动力学行为。由于 HH 模型在生物学上的合理性，它在试图精确模拟生物神经系统的类脑计算实现中非常流行。

当今，已经出现了许多的人工神经网络（ANN），比如现在深度学习领域十分火热的卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）。虽然这些网络变得越来越大，越来越复杂，但基本的神经元模型并没有多大的改变。脉冲神经网络（SNN）试图模拟生物神经网络的结构和信息加工过程。在人工神经网络的神经元之间的连接被称为权值，而在脉冲神经网络中，神经元之间却是神经脉冲，信息的表达和处理通过神经脉冲发送来实现。就像我们的大脑中，有大量神经脉冲在不停传递和流转，因此脉冲神经网络在表达和处理信息时，比深度学习的时间性更突出，更加适合进行高效的时空信息处理。脉冲神经网络可分为三类：1）前馈型脉冲神经网络。在多层前馈脉冲神经网络结构中，网络中的神经元是分层排列的，输入层各神经元的脉冲序列表示对具体问题输入数据的编码，并将其输入脉冲神经网络的下一层。最后一层为输出层，该层各神经元输出的脉冲序列构成网络的输出。输入层和输出层之间可以有一个或者多个隐藏层。2）递归型脉冲神经网络。递归脉冲神经网络是指网络中具有反馈回路的脉冲神经网络，由于其信息编码及反馈机制不同于传统递归人工神经网络，由此网络的学习算法构建及动力学分析较为困难。递归脉冲神经网络可应用于诸多复杂问题的求解中，如语言建模、手写数字识别以及语音识别等。递归脉冲神经网络可分为两大类：全局递归脉冲神经网络；另一类是局部脉冲神经网络。3）混合型脉冲神经网络。混合型脉冲神经网络即包括前馈型结构，又包含递归型结构。

脉冲神经网络目前也有许多学者将其应用在不同的领域。董丽亚^[2]等人通过控制"引导"神经元的激活时间间接调整目标权值,将算法应用在扑克游戏中,使扑克机器人能够学习一个人的打牌能力,实现拟人化程度为 85%。针对脑机接口技术存在数据的信噪比低和被试间差异等问题,导致分类的准确度较低,李占英^[3]等人通过脉冲神经网络模型,一定程度上提高了神经网络对脑电数据分类的准确度。为实现生物大脑的高性能、低功耗、并行的运行机制，目前所使用的的计算机已经不能满足其要求，设计神经网络芯片成为一大研究热点。由于脉冲神经网络是由微分方程或者连续的核函数来描绘的，故硬件上可以容易做到，并且可以使用模拟电路实现从而减少数字化的误差。

3 未来发展

计算神经科学是一个交叉学科,其发展离不开神经科学的支持。计算神经科学的发展需要实验的支持,其理论模型与数值模拟需要实验基础,以便于更好的刻画人脑大脑信息。大脑处理某个信息时需要多个神经元联合活动,对于特定的问题大脑系统的模型该如何理解并用数学模型进行刻画。像神经网络构成的系统,其如何处理数据,如何解释其工作机制都是值得去探究的。当前刻画大脑的手段众多,如核磁共振影像技术,但其所采集的数据中涉及到多个神经元,目前常见的降维技术包括主成分分析,扩散嵌入等降维方法,是否还有其他的降维方法可以有效的使数据维度降低也是一个值得研究的问题。神经元之间物理实实在在存在的连接称为结构连接,也有通过 fMRI 得到的时间序列求得的功能连接。通过分析连接矩阵的特征,可以剖析神经元背后的联系与规律。

目前所流行的人工神经网络所采用的是连续型的输出模式,而有些研究表明神经元采用的编码方式是电脉冲的形式。脉冲神经网络正是采用此编码方式,这样可以更好的模拟人脑的处理机制,脉冲神经网络具有处理更加复杂信息的能力。神经元的种类众多,结构不同,负责的职能也不尽相同。从神经元真实结构和放电特征出发,结合神经科学的实验,进一步的发展像脉冲神经网络的第三代神经网络。在硬件上实现生物神经网络是目前计算科学领域中极具挑战性的技术难题之一^[4]。脉冲神经网络将信息编码成脉冲时间,能够获得更多的信息,适合处理各种神经信号问题。将脉冲神经网络在硬件上实现,进而实现更加智能的系统,也是目前研究的一大方向。

计算神经科学是一个前沿性的交叉学科,各个方面还有待我们前去研究,随着我国脑计划的实施,其发展将会更上一层楼。

4 参考文献

- [1]周栋焯.计算神经科学[J].计算数学,2021,43(02):133-161.
- [2]董丽亚,何虎,王麒淋,杨旭.脉冲神经网络算法及其在扑克游戏中的应用[J].计算机工程与设计,2021,42(09):2462-2471.DOI:10.16208/j.issn1000-7024.2021.09.009.
- [3]李占英. 基于脉冲神经网络的运动想象脑机接口分类研究[D].北方工业大学,2021.DOI:10.26926/d.cnki.gbfgu.2021.000434.
- [4]杨钊. 基于 FPGA 的脉冲神经网络的设计[D].河北工业大学,2016.