

第5讲

第5讲：从生物大脑到人工神经网络

牛温佳 教授

北京交通大学·网络空间安全学院

本讲内容

- 1 5.1 生物神经系统——亿万年的智慧结晶
- 2 5.2 人工神经网络——对大脑的数学抽象
- 3 5.3 从第一代到第三代神经网络
- 4 5.4 为什么需要类脑计算?
- 5 思考题与小结

理解生物神经元的结构和信息传递方式

了解从生物神经元到人工神经网络的演化过程

认识深度学习的革命性进展

5.1 生物神经系统——亿万年的智慧结晶

Section 5.1 生物神经系统——亿万年的智慧结晶

5.1 生物神经系统——亿万年的智慧结晶

5.1.1 生物神经元的结构

人脑包含约860亿个神经元，每个神经元通过突触与数千个其他神经元相连，形成了人类已知最复杂的计算网络。一个典型的生物神经元包括三个主要部分：

- **树突**：接收来自其他神经元的信号（输入端）
- **细胞体**：整合接收到的信号，决定是否产生神经冲动
- **轴突**：将神经冲动传递给下一个神经元（输出端）

5.1.2 神经元如何传递信息？

5.1 生物神经系统——亿万年的智慧结晶（续）

神经元通过电化学信号传递信息。当一个神经元接收到的刺激超过某个阈值时，它会产生一个“全或无”的动作电位（即脉冲），沿着轴突传递给下游神经元。传递的“信息”不是脉冲的形状（所有脉冲都一样），而是脉冲的**时间**和**频率**。

几个关键概念：

- **静息电位**：神经元未受刺激时的膜电位（约-70mV）
- **动作电位**：超过阈值时产生的电脉冲
- **“全或无”定律**：要么不产生脉冲，产生了就是同样大小

5.1 生物神经系统——亿万年的智慧结晶（续）

- **突触**：神经元之间的连接点，分为兴奋性（促进放电）和抑制性（抑制放电）

5.2 神经网络——对大脑的数学抽象

Section 5.2 神经网络——对大脑的数学抽象

5.2 人工神经网络——对大脑的数学抽象

5.2.1 感知机——最简单的神经元模型（1958年）

感知机是人工神经网络最基本的模型，它将生物神经元抽象为数学函数：接收多个输入，每个输入乘以权重后求和，再经过激活函数输出结果。尽管简单，感知机在模式分类问题上表现出了能力，并奠定了神经网络的基础。

5.2.2 多层感知机与深度学习

单层感知机只能解决线性可分的问题。为了处理更复杂的任务，研究者将多个神经元分层组织，形成了多层感知机。随着层数加深（"深度"学习），网络可以学习越来越抽象的特征——从边缘检测到物体识别，再到语义理解。

5.2.3 深度学习的革命（2010年代至今）

关键突破包括：

5.2 神经网络——对大脑的数学抽象（续）

- **大数据**：互联网时代海量训练数据的可用性
- **GPU加速**：大规模并行计算使深层网络的训练成为可能
- **反向传播算法**：让深层网络的参数可以被有效优化
- **新型网络结构**：卷积神经网络（CNN）处理图像，循环神经网络（RNN）处理序列

5.3 从第一代到第三代神经网络

Section 5.3 从第一代到第三代神经网络

5.3 从第一代到第三代神经网络

- **第一代**: 感知机和多层感知机, 基于McCulloch-Pitts神经元模型
- **第二代**: 深度神经网络 (DNN/CNN/RNN), 使用连续激活函数和反向传播
- **第三代**: 脉冲神经网络 (SNN), 基于脉冲时间编码, 更接近生物神经元

5.4 为什么需要类脑计算?

Section 5.4 为什么需要类脑计算?

5.4 为什么需要类脑计算？

尽管深度学习取得了巨大成功，但它面临几个根本性挑战：

- **高能耗**：训练一个大模型消耗的电力可以供应一个家庭数年
- **算力瓶颈**：传统芯片的算力增长接近物理极限（摩尔定律放缓）
- **缺乏生物合理性**：深度学习的机制与人脑有显著差异

而人脑仅消耗约20瓦功率，却能完成远超AI的复杂认知任务。类脑计算正是要从生物大脑的结构和机制中汲取灵感，构建全新的计算范式。

📖 延伸阅读

📖 Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. Deep Learning. MIT Press.

📖 方滨兴. 人工智能安全. 电子工业出版社, 2020.

1. 生物神经元和人工神经元的"激活"方式有什么本质区别?
2. 你认为深度学习在哪些任务上已经超越了人类? 在哪些方面仍然不及?
3. 如果你要设计一个像人脑一样高效的计算系统, 你会从哪些方面入手?

本讲小结

- ✓ 5.1 生物神经系统——亿万年的智慧结晶
- ✓ 5.2 人工神经网络——对大脑的数学抽象
- ✓ 5.3 从第一代到第三代神经网络
- ✓ 5.4 为什么需要类脑计算？
- ✓ 思考与讨论

感谢聆听

第5讲 · 从生物大脑到人工神经网络