

神经网络：历史、现状与未来

HISTORY, PRESENT SITUATION AND FUTURE OF NEURAL NETWORK

钟义信

1987年6月，在美国圣地亚哥举行的第一届神经网络国际学术讨论会期间，会议的组织者与主持人曾经发出一个不同凡响的宣言，声称：“人工智能已亡，神经网络万岁”。这一宣言，震撼了两千多名来自世界各地的与会者，也使全世界的学人对神经网络刮目相看。此后不久就有人预言：对于神经网络的研究，其意义将超过二次大战期间对原子弹的研究。

虽然上述宣言对于人工智能和神经网络的极端态度不无“哗众取宠”之嫌，但是，神经网络近年的研究进展确实值得世人注目。事实上，如此众多的生物学家、生理学家、物理学家、心理学家、电子学家、信息学家、通信与计算机科学工作者、医学工作者云集这一领域，这本身就是一个引人瞩目的动向。

那么，什么是神经网络？这一研究的背景和前景如何？对于科学技术的发展具有什么意义和影响？

历史的回顾

为什么第一届神经网络国际学术会议的组织者会说出“人工智能已亡，神经网络万岁”这样尖刻的言词呢？原来，神经网络的研究确实与人工智能有一段“恩怨”缘由。

早在本世纪40年代中期，当威纳（Wiener）、罗森布拉特（Rosenblatt）、麦卡洛克（McCulloch）、皮茨（Pitts）等人在酝酿控制论的

时候，人们已经把探索的目光投向了神经系统和思维的问题，试图探索神经系统与思维活动的奥秘，虽然当时还没有正式使用“人工智能”这一科学术语。从这个意义上说，神经网络的研究是由人工智能的研究推动起来的。事实上，第一个比较成功的神经元模型就是由麦卡洛克和皮茨在1943年提出的。当然，后来麦卡洛克—皮茨模型被修正和改进成为阈值逻辑模型，基于这种模型，人们曾经先后构造了许多模拟人的智能活动的人工系统，如具有高等动物条件反射功能的“电子犬”，具有识别和记忆功能从而能够快速走出复杂迷宫的“电子鼠”，具有自适应和自学习功能的自动均衡器和自动调节系统等。到了60年代初期，还进一步出现了以神经元模型为基础的网络系统——早期神经网络模型，如Adaline（Adaptive Linear Element）、Madaline（Multiple Adaline），以及Perceptron（感知器）等等。特别值得提到的是罗森布拉特曾经用感知器实现了能够识别一些文字和模式的“电子眼”，激起人们巨大的兴趣。这种纯粹用硬件结构来模拟某些智能活动的方法称为结构主义的仿生学派，它是早期人工智能研究方法的基本特征。

但是，结构主义仿生学派的方法逐渐陷入了困境，原因是这种研究方法必须以透彻地掌握原型的结构为前提。在当时的科学水平上来看，人的智能的“寓所”在大脑，但是大脑本身的结构并不十分清楚，因此，模拟大脑的前提就发生了问题。另一方面，就算弄清了大脑的结构，在当时的技术条件下也不能设想去实现结构的模拟，因为当时已经认识

到仅大脑皮层就有 10^{11} 个神经元，而神经元之间又具有十分复杂的联接关系。于是，神经网络的研究前景蒙上了一层阴影。正巧，人工智能的权威学者、麻省理工学院的明斯基（Minsky）教授在 1969 年与人合写了一本书，书名就叫《perceptron》，书中一方面肯定了神经网络研究的成果，但同时也尖锐地指出了当时神经网络研究的局限性和问题。由于明斯基在学术界有很大影响力，他的这种评论使不少研究人员中途却步。整个神经网络的研究在 60 年代末期很快便沉寂下去了，人工智能的研究则从硬件实现和结构模拟全面地转向软件实现和功能模拟的途径，造成了今天人工智能的鲜明的特征——与神经网络分手，变成了计算机科学的一个分支。

可以认为，正是这种“不愉快的分手”给神经网络的研究者们造成了空前的困难和压力。因此，一旦它有机会重新崛起，便情不自禁地要向“背弃”过它的人工智能唱丧歌。

客观而论，神经网络的东山再起并不会埋葬人工智能的前途。恰恰相反，它的成就正好给人工智能开辟了新的前景。如果说今日神经网络的新的成功否定了人工智能研究中的什么，那么，它所否定的只是近年来人工智能朝软件途径一面倒的倾向，并不是，而且也不可能否定人工智能本身。

从历史的回顾中可以引出一个很深刻的方法论方面的教训：单凭硬件途径和结构模拟或单凭软件途径和功能模拟都不可能把人工智能的研究贯彻到底。正确的方法应当是硬件与软件的有机结合，以及结构模拟与功能模拟的有机结合。当然，按照人们认识发展的逻辑，由硬件途径到软件途径再到软硬结合，由结构模拟到功能模拟再到结构与功能模拟的兼顾，这也是很自然的过程。

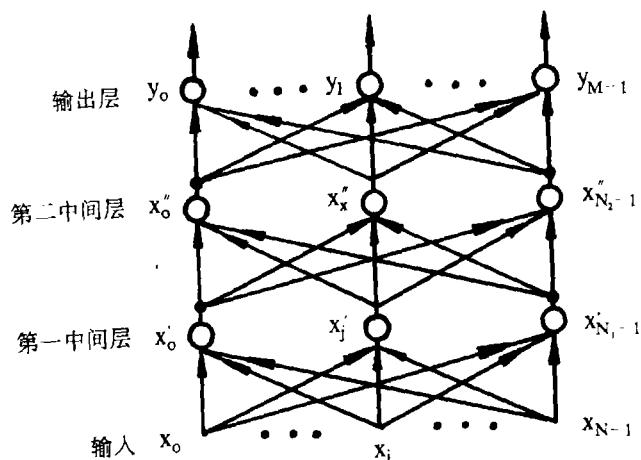


图 1 多层感知器模型

神经网络的研究之所以能够在近年重新崛起，主要是在神经网络的拓扑结构、学习算法，以及神经网络在超大规模集成电路上的实现技术等方面取得了新的突破，使 60 年代末期所面临的困难局面豁然开朗。同时，在表现人类智能的一些重要领域，新的神经网络显示了某些明显的优势，也使人们士气大振。

具体来说，近年发展起来的许多新的网络模型如 Hopfield 模型、Boltzmann 模型、Hamming 模型、Garpenter-Grossberg 模型、Gauss 模型、多层感知器模型、Kohonen 模型等等在结构上都打破了原有模型“神经元数量少而且联接简单”的局限性，形成了具有一定规模而且具有复杂灵活联接关系的网络。图 1 所示是其中一种典型的结构模型——多层感知器模型。

图中示出，网络由多层神经元组成，每层包含一定数量的神经元，每个神经元都是一个多输入单输出的非线性运算单元：

$$y_l = f\left(\sum_{k=0}^{N_1-1} \omega_{kl} x_k'' - \theta_l'\right), \quad 0 \leq l \leq M-1$$

$$x_k'' = f\left(\sum_{j=0}^{N_2-1} \omega_{jk}' x_j' - \theta_k'\right), \quad 0 \leq k \leq N_2-1$$

$$x_j' = f\left(\sum_{i=0}^{N_1-1} \omega_{ij} x_i - \theta_j\right), \quad 0 \leq j \leq N_1-1$$

其中 f 是某种非线性函数， ω_{ij} 是神经元 i 至神经元 j 之间的联接权系数， θ_j 是神经元 x_j 的阈值。每个权系数的大小都可以根据需要在 0 到 1 之间调整：0 表示不联接，1 表示全联接，其他数值表示处于中间状态的联接强度。因此，只要调整这些权系数就可以改变网络的实际拓扑结构。这是新型神经网络的一个很大的特点——通过调整权系数来改变网络的联接关系，从而改变网络的拓扑和行为。这就是所谓的联接主义（connectionism）的概念。正因为如此，有些人就把神经网络也称之为联接机（connection machines）。

在学习算法方面的突破，最典型的是提出了反推算法（back-propagation algorithm）。它的基本概念是：如果神经网络的实际输出与所期望的输出之间存在误差，那么就根据这个误差的具体性质和大小反过来调整下一层的各个神经元的权系数和/或阈值，并将这种调整逐层向下传递（这就是

back-propagation 的含义)。我们把每个反推调整循环称为一次迭代过程。经过若干次迭代如果能够使输出误差消失或小于某个事先规定的界限,我们就说这个算法是收敛的。收敛的速度可以通过调整算法中的有关参数来控制。

与 60 年代以前的情形相比,在实现技术方面的突破是显而易见的。通常人们不再用分立元件的技术来实现新的神经网络,而是采用超大规模集成电路或集成光学的工艺技术来实现。这样,就使 60 年代以前不敢设想的大规模复杂神经网络得以成为现实。

总起来看,新的神经网络具有如下一些引人注目的特征:

- 非线性运算: 每个神经元的运算性质都是非线性函数;
- 规模效应: 新型神经网络包含的神经元数量都具有相当大的规模;
- 弹性结构: 新型神经网络的结构可以通过学习算法对权系数矩阵的调整而随意改变,使网络的结构变得十分灵活,富有弹性;
- 并行处理: 新型神经网络每层的各个神经元之间都按照并行处理的机制进行工作;
- 分散处理: 整个网络的处理能力分散到各层的各个神经元去实现;
- 模数并存: 每个神经元的运算既包含模拟量的操作又包含数字量的操作;
- 学习能力: 新的神经网络可以通过学习算法的调整和引导,使网络的行为适应于规定的任务;
- 高度集成: 神经网络的最终形式是大规模集成电路工艺的芯片。

现在的神经网络的规模仍然相差甚远。但是,人们也相信,人工神经网络并不需要具备与人脑神经网络完全相同的规模。那么,究竟这种规模要达到什么程度才可能显示出质的飞跃?这个问题仍然有待探索。这是第一。

第二,一旦实现大规模的人工神经网络,它就成为一种大规模的复杂的非线性系统(它的每个神经元都执行非线性运算),如果处理不好,就很容易激发混沌(chaos)现象。如何控制这种大规模非线性相互作用系统避免产生混沌,也是一个尚未解决的问题。

第三,现有的神经网络只有分散在每个神经元

的容量极小的存贮能力,没有与任务相适应的记忆系统(包括长期记忆、中期记忆和短期记忆系统)。这样的神经网络只能执行单一的工作任务,不能象人脑那样可以适应各种各样的工作任务。

第四,现有的神经网络都不会利用信息中的语义(信息的内容含义)和语用(信息的效用价值)因素,只会利用信息中的语法(形式化关系)因素,而不能利用语义信息(不能理解信息的含义)和不能利用语用信息(不能判断信息的效用)的系统无论如何也不可能具有高级的智能水平。

近年来神经网络的发展虽然在很大程度上突破了 60 年代所面临的局限性,在文字识别、语声识别、图象处理、优化算法等方面取得了明显的进展,但是,由于存在以上四方面的问题,现有神经网络的能力仍然没有发生质的飞跃。

有鉴于此,今后的研究工作至少应当包含如下一些基本的方面:

- 继续探讨人脑的生理结构,即所谓原型的研究;
- 深入研究人脑思维的机制,特别要从信息科学和认知科学的角度来阐明这种机制;
- 进一步研究知识的表示和处理方法;
- 探讨神经网络的合理拓扑及其知识库(记忆系统)的结构;
- 继续探讨学习的有效算法,特别是计及语义和语用信息的学习算法;
- 研究智能神经网络(即能够理解语义信息和利用语用信息,且具有必要规模的知识库的神经网络)在语声、文字、图象识别方面的应用;
- 探讨智能神经网络在利用知识进行推理方面的应用;
- 探讨基于智能神经网络的智能计算机和智能机器人系统模型。

神经网络的研究深入到了人的思维领域,是一项意义深远的科学探索。从当前的情况来说,它的研究成果可以提高许多机器系统的智能水平,提高相应领域的生产能力;从长远的观点看,它的研究进展将大大促进人类智力劳动的逐步解放,推动人类文明的发展,因此,应当给予充分的注意。

本文作者钟义信(Zhong Yixin)系北京邮电学院教授。