

人工神经网络简介

张承福

人工神经网络是一门多学科、综合性的研究领域。该研究虽已有 30 年历史，但发展很不平衡。80 年代，特别是近几年来，世界各国已形成神经网络研究热潮。我国自 1988 年以来有关研究也有迅猛发展。

1. 什么是人工神经网络 人工神经网络是在现代神经科学研究成果基础上提出的一种数学模型，它反映了大脑功能的若干基本特征，并非逼真描写，只是其某种简化、抽象和模拟。网络的具体模型很多，且仍在发展中，但可概括定义为：由大量简单元件(神经元，可用电子元件、光学元件等模拟)广泛互连而成的复杂系统。神经元仅起简单的输入、输出变换 $y = \sigma(x)$ 。

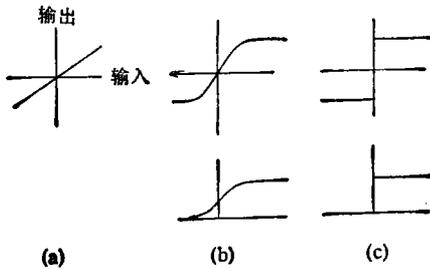


图 1

图 1 是几种常用的元件：(a) 是线性元件，其性能易于分析，但功能有限，现已少用。(b) 与 (c) 分别是连续型与离散型非线性元件，是当前研究的主要对象。前者便于解析计算及器件模拟，后者则便于理论分析，亦可用阈值逻辑器件实现。各神经元间以强度 w_{ij} 互相连接， $w_{ij} > 0$ (< 0) 表示 j 神经元对 i 神经元有兴奋型(抑制型)作用，数值的大小反映作用的强弱。这样， N 个神经元(一般 N 很大)形成一个互相影响的复杂网络系统，神经元状态 S_i 演化规则为

$$S_i = \sigma \left(\sum_{j=1}^N w_{ij} S_j - \theta_i \right) \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

θ_i 是 i 神经元的阈值。显然，网络性能取决于全部连接强度及阈值 $\{w_{ij}, \theta_i\}$ 。如何调整这些参数，使网络具有所需的特定功能，称为学习、训练或自组织，是神经网络研究的重要课题。由于“连接”在此系统中的特殊重要作用，故有连接主义 (Connectionism) 之称。

上述模型源于大脑皮层结构。现知大脑皮层由 $10^{11} - 10^{12}$ 个神经元组成，每个神经元有大量输入端(树突)与输出端(轴突)，可与 $10^4 - 10^5$ 个神经元通过突触(一神经元输出与另一神经元输入的结合部)相

连。在外界刺激下，突触强度可因电生化反应而改变。如著名的 Hebb 规则 $\Delta w_{ij} = \alpha S_i S_j$ 给出，若 i, j 神经元同时兴奋 ($S_i = S_j = 1$)，则其联系增强。这正反映了大脑的可学习性。现认为长期记忆主要由此种形式实现的。大脑的功能是多面的、奇妙而复杂的，许多问题至今仍是未知数。传统的计算机(“电脑”)及人工智能也模拟了大脑的某些功能，如逻辑推理、抽象思维等。由于电脑储存容量大，搜索和运算快，对于特征明确、规则清楚的问题，可有效而高速运行，极大延拓了人脑的功能。但对另一类问题，主要与形象思维、直觉、经验、联想等有关的问题，电脑就远不如人脑了。在这类问题中待识别的特征往往有畸变，缺损或不稳定性，推理规则不明确或多变性(如“可意会、难言传”的经验，“灵活掌握”的原则等等)，电脑和传统方法就笨拙和无能了。模式识别、复杂系统的控制、复杂环境下的决策、以经验为主的专家系统等许多方面，电脑和传统方法遇到很大困难，远不能模拟人脑功能。神经网络研究的兴起正为了弥补这一不足，力图能更好反映人脑处理此类问题的基本特征，从而发展出一代不同于 Von Neumann 型的、新型计算机来。

2. 神经网络的基本特征 现有网络模型很多，但远非完备和成熟，尚有待发展。总而言之，它应力图体现人脑的如下基本特征：

(1) 大规模并行处理。神经元间传递信息(神经脉冲)是以毫秒计的，比电脑(约 10^{-8} 秒)慢得多。但人能在不到一秒时间内作出判断和决策，即“百步程序”决策，这是传统计算机原理绝对做不到的。这表明人脑的“计算”必定是基于大规模并行处理和不同的“计算”原理上的。图 2 是一个识别英文字母的浅显例子。逐点扫描或逐字识别都难以很快得出正确结论，但结合英文知识背景的整体识别则容易得多。视觉在人们获取知识中的特殊重要作用；人们在复杂场景下作出判断和决策时，登高远望、“高瞻远瞩”的重要作用等，都与此有关。神经网络的大规模并行处理不仅为了快，而且强调对决策有关的因素应同时处理。当然，单纯的并行网络不能很好体现因果关系和信息的相互

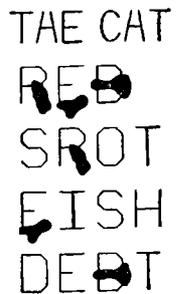


图 2

影响,好的网络应是大规模并行处理与串行处理的有机结合。

(2) 容错性与壮实性。容错性指允许输入信息有畸变、缺损等;壮实性指网络少量元件的损坏不影响整体功能。人具有很强的容错性和联想功能,如能很快辨认面貌大变的老友,能根据部分信息判断整体等;部分大脑神经细胞的正常死亡并不影响大脑功能,表明其壮实性。而这些正是现有电脑最脆弱的方面。对电脑输入信息的些微差错、元件的局部损伤、程序中的微小错误都可能引起严重后果。两者这一巨大差别的根本原因是信息储存和加工的方式不同。电脑的信息是局域式储存,各数据和信息互不相关,仅由程序指令而沟通。人脑信息本质上是分布式储存:每一信息记录在许多连接键上,每一键同时记录许多信息(可以普通照片与全息照片的差别作对比:前者是局域储存,照片任何部位缺损是无法复原的;后者是分布储存,部分底片仍能得到完整的图象,只是稍模糊些而已)。在神经网络中,信息储存区与操作区是合一的,信息间的沟通是自然的。当然,分布储存信息间的干扰也较大,因此,同样硬件条件下的储存容量远低于局域储存,可能这是一种必要的代价。

(3) 可学习性(自适应性、自组织性)。大脑功能受先天因素制约,但后天因素如经历、学习等也起重要作用,表明其可学习性。如盲人听觉、触觉特别灵敏;聋哑人对手势、唇语敏感;正常人可因经历不同在知识专长上千差万别;等等。人类很多智能活动并非按逻辑推理方式进行而是“习惯成自然”形成的。如人学会骑自行车而并非按力学原理推断每步动作的;小孩能识别亲人但说不出“特征是什么”来;等等。所有这些,编写程序是十分困难的,而人是通过实例反复训练(即学习)而获得的。这正是传统方法与神经网络的又一重大差别:前者强调程序编写,系统的功能取决于编写者的知识与能力;后者强调系统的自适应或学习。同一网络,因学习内容、方法不同,可具有不同的功能。只有能学习的系统,才可能发展知识,超越设计者的原有知识。寻找快速而有效的学习方法,乃是网络研究的重大课题之一。

以上是神经网络的基本特征,也是它与传统方法的基本差别。如何在具体模型中更好体现上述特征,是仍需努力的工作。应指出,传统途径在许多问题上还是有效的,两者各有长短,真正的人工智能应是两者的互补,而不是简单的取代关系。

3. 神经网络的运行方式及可能应用 模式识别,系统控制等大量智能问题可表达为“输入-输出”或“问题-答案”的形式。通过编码总可将输入与输出用两个矢量 x 与 y (其分量为连续的或二值的)来表示,即可用一串神经元的状态来表示。如一系统对某领域的问题都能正确回答,即有正确的函数关系 $y = f(x)$ 则

认为它具有该领域的智能。许多实际问题(如语音识别、手写体识别、复杂系统控制等)本身具有大量变型或不确定性,其内部规律也并不清楚,传统人工智能方法很难处理。神经网络的容错性和可学习性是有利于处理此类问题的。

神经网络有两种运行方式,一是前传式,如图3所示。下面是输入层,最上层是输出层,中间有若干隐层。相邻层间有连接键相联,信息由下向上单向传递。连接强度可由学习算法(如反传布算法)不断调整,使之具有

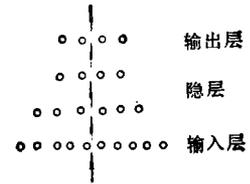


图 3

正确的输入-输出关系。“感知器”(Perceptron)是无隐层的、最简单的前传网络,只要“问题有解”,学习算法能保证收敛,但功能有限,只能完成一类线性可分的问题。可以证明,只要增加一定规模的隐层,多层网络原则上可实现任何输入-输出映射关系。多层网络的学习问题是重要而困难的任务,反传布算法一定程度上解决了此问题,它本质上是一种误差函数的梯度下降算法,但仍存在效率低,易陷于局域极值等问题。网络另一种运行方式是递归式或演化式。此时输入层与输出层合一,递归运行。著名的 Hopfield 网络就是无隐层的演化网络。演化网络与物理系统有很多相似之处。它本身就类似于耗散的非线性动力系统。网络的状态空间(N 维二值网络共 2^N 状态)在演化中会收缩到一个小的终态集——吸引子集(包括不动点及周期解),每个吸引子有一个吸引域,处于该吸引域的状态都会进入相应的吸引子(正如小球在高低不平场地中的运动)。对此系统的分析方法和概念很多是从物理学中借鉴来的。如“能量”函数,动力系统稳定性分析,为避免陷于局域极值引入“热噪声”,“模拟退火”, Boltzmann 机(一种服从 Boltzmann 统计的概率网络)等等。离散的神经网络(神经元状态 $S_i = \pm 1$)与自旋系统的 Ising 模型极为相似。在神经元数量极大,连接强度有一定随机分布等条件下,它与自旋玻璃系统极为相似,有的学派已将自旋玻璃的统计理论用于大脑模型的分析。演化网络的上述图象可在两方面加以利用。一是用于联想记忆:构造网络,使得记忆的样本集成为各个吸引子;使用时,只要输入模式处于其吸引域内(即偏差不太大),总会趋于标准样本而输出。二是用于困难的制约优化问题的近似求解:如著名的货郎担问题(TSP 问题)。利用演化网络在一定条件下具有“能量”下降的特性,设计合适的网络,可在极短时间内找到较好的近似解。这实际上是以模拟方式对大空间作快速的启发式搜索。

4. 对网络研究“热”的评估与瞻望 人工神经网络作为人工智能的系统研究始于 50 年代末。它的发展

“八月十八潮，壮观天下无”。

自古以来，钱塘江大潮，名扬天下。站在钱江大堤上，翘首东望，只见水天之际，白浪平推，挟着雷声，滚滚而来，潮头立卷，高约三米有余。它斜贯大江南北两岸，宛如一条横滚的游龙，翻腾咆哮。流速可达每秒9.6米。它与

一般潮水不同之处，在于它没有一进一退、一呼一吸现象，而是一口气一直滚进杭州湾底。

钱塘江大潮为什么流得这样快？它的动力当然是潮水的势能，也与杭州湾的喇叭口地形有关，但这只是问题的一个方面。潮水与江水相交，并不相撞，而是上下交错，剪切摩擦。潮水与江水相交之前，江水一直照常流动，水位既没有提高，流速也无明显变慢。这说明潮水与江水相交之后，并不互相混合，而是各走各的路：江水从底层流入东海，潮水从上层滚进湾底。假如它俩相交之后，在十几公里之内混合起来，也会抬高江口水位，降低江水流速。天下的奇观也就不存在了。

两股流体，上下交错，对流得很远，而不互相混合。在它们的界面上必定相对摩擦，产生旋涡运动。这一层旋涡是横滚的。它的旋转方向，既垂直于江水，也垂直于潮水；既与江水的流向相同，又与潮水的流向相同。它受上下两层大水的重压，它的半径是很小的，因而它的加速度是很大的。它的离心力 F 为流体质量与加速度的相乘积：

$$F = ma$$

所以，它既能将江水离心加速流入东海，也能将潮水离心加速驱向上游。这就是钱塘江大潮势如万马奔腾的主要原因。

有的江河入海后，在海底潜流得很远，甚至一直潜流到大陆架边沿，进入深海为止。这完全是可能的，钱塘江就有这种可能。有的海域深层海水与上层海水流向完全相反，并且长期保持不变。如果在它们的相对流动的界面上，没有旋涡运动，就不可能产生和保持这种流动状态。

我们命名上述发生旋涡运动的界面为离心边界

层。是不平衡的，它的诞生引起过很大兴趣与争议，主要与“人工智能走什么路？”有关，与计算机、人工智能发展状况密切相关。我们认为最近的研究热潮有其必然性：计算机原理有待新的突破（迄今几代计算机的发展都是技术上的突破）；超大规模集成电路技术已为神经网络硬件实施打好基础；一批重要理论工作的出现；神经网络在若干应用中的初步成功；等等。面对热潮并瞻望前景，应强调两点：首先，大脑功能是奇妙的、多层次多方位的。探索其功能、机理，从而应用于人工智能，是一项意义重大，然而也是艰巨的、值得几代人

钱塘江大潮与离心边界层

张海泉



层。

离心边界层，是一种普遍存在的现象。机器里的轴承和润滑油之间，剪切摩擦能将机器离心加速。大自然中，万里晴空经常出现一层规律一致的云纹。它总是具有一定的频率和波长，而不连成一片。这是并列同向旋转横向旋涡的特征表现。因为两个并列旋涡的旋转方向虽然相同，但它们的夹缝中的旋转方向则相反。相反相斥，必定拉开一定距离而不混合。所以我们确认它是一种横向涡列。它是大气环流的锋面相对摩擦而产生的离心边界层。它也能将其上下两层相对运动的大气自动离心加速。

自来水管经常发生振荡和噪声。这是因为水流与光滑的管壁摩擦，产生了环状旋涡，并将水流自动加速。但环涡半径不能控制，它突然长大，将管道堵塞，在下流造成一段真空，在上流造成一段高压。紧接着这个环涡又突然破裂，高压加速冲进真空区域，造成振荡和噪声。在大型水力发电管道里，可以达到几百个大气压的能量，给生产带来危害。但是，长长的动物气管、细细的动物脉管、自由弯曲的大象鼻管，它们总是畅通无阻，从来也不发生堵塞、振荡和噪声。这是什么



喇叭式喷管

努力的任务。有人认为神经网络就是那几种模型，并因其“效能不高”而否定这一方向，这种态度不定取。同时也应看到，目前网络研究虽很热，但仍处于其发展的“婴儿期”，实际上人们对这一复杂系统的性能还知之甚少，目前的一些成功还只是些“小玩意”（虽然小玩意有时也能起大作用）。当前除了应用研究、硬件研制外，还需花大力对该系统的性能作多方探索和深入了解。否则，难以有大的发展和突破，“热”也是难以持久的。