

人工神经网络固有的优点和缺点^{*}

杨晓帆 陈廷槐

(重庆大学计算机研究所 重庆 630044)

摘 要 本文较详细地分析了一般神经网络固有的优点和缺点,并对 BP 网络和 Hopfield 网特有的优点和缺点分别进行了阐述。最后,比较了用反馈神经网络和用启发式算法求解 NP 难的优化问题之各自利弊。

关键词: 人工神经网络 BP 算法 BP 网络 Hopfield 网 性能 NP 难性

1. 引言

近年来,人工神经网络(简称神经网络)以其广阔的应用前景和 VLSI 实现的潜在可能性引起了广大学者和工程技术人员极大的兴趣,并取得了丰硕的研究成果^{[1]~[4]}。然而,神经网络到底适合于求解哪些问题?不适合于求解哪些问题?对这两个问题进行深入的思考有助于我们加深对神经网络的认识和理解,也有利于把它应用于合适的领域。为此,本文打算分析神经网络有哪些固有优点和缺点。在这里,“固有”二字的含义是:不受时间,空间,技术等各种主客观因素的影响。

2. 一般神经网络固有的优点和缺点

一般的神经网络有下列优点:

①与各门现代科学技术紧密合作,相互促进。

——脑科学、神经生理学和认知心理学的最新进展有可能为神经网络的研究提供新思想、新方向。

——神经网络处理信息的不精确性使模糊数学成为研究它的重要工具,使模糊神经网络成为重要的研究方向。

——对反馈神经网络的研究本质上就是对各类大规模非线性动力系统的研究,后者的各类性质(吸引子个数、吸引子类型、各个吸引子的吸引域、自组织、协同等)是前者的主要研究课题。

——在无反馈神经网络上开发高效学习算法与非线性函数的最优化技术密切相关。

——神经网络的结构(神经元固有地简单,可用简单元件实现;神经网络的拓扑结构规范、整齐,有利于神经网络的 VLSI 设计和实现)决定了有可能用 VLSI 技术或(和)光学技术实现。

②神经网络在工作时具有高速度和潜在的超高速。

神经网络体系结构上的两大特性——数据处理的超大规模并行性和数据存储的分布性——完全消除了冯·诺依曼体系结构中存在的“处理器-存储器瓶颈”,从而在工作时具有高速度。另一方面,一旦用 VLSI 技术或(和)光学技术实现了神经网络(这是可能的),神经网络的工作过程就成为实际系统的状态演化过程,就可以充分利用底层硬件的超高速。

③具有容错和容差能力。

每个神经元和每个连接对网络的整体功能的贡献是微小的,以致于少量神经元和连接发生故障对网络功能影响很小。此外,神经元激活函数的“压扁”特性又高概率地把这种影响压缩到最低限度,从而使整个网络具有很强的鲁棒性(硬件容错性)。另一方面,输入向量中每个分量对网络输出的贡献是微小的,以致于少量分量有偏差对网络输出影响很小。同时,激活函数的“压扁”特性把这种影响进一步压缩到最低限度,使整个网络具有很强的容差能力^[5,6]。

④适合于求解难于找到好的求解规则的问题(如模式识别)。

在用数字计算机求解模式识别之类问题时,遇到了很大的障碍,其根本原因在于:人们目前对人脸

^{*} 国家博士点基金支持课题。杨晓帆 博士生,主要研究方向:人工神经网络、计算机系统级故障诊断、应用图论、应用概率论。陈廷槐 教授,博士导师,主要研究方向:多值逻辑、人工神经网络、数字系统的测试、容错和诊断。

求解这种问题的机理了解甚少,难于找到好的求解规则。按照现代科学的观点,这类问题的求解过程很可能与串行的逻辑推理过程有着本质的不同。因此,直接从人脑的结构入手,研制新型的神经计算机,就成了求解上述问题的一条重要途径。

一般的神经网络存在下列缺点:

①难于精确分析神经网络的各项性能指标。

神经网络是高度非线性的大型(静态或动态)系统,其高度的复杂性使得不可能精确分析它的各项性能指标。这大大限制了神经网络的适用范围,是它的“阿喀琉斯之踵”。

②不宜用来求解必须得到正确答案的问题。

神经网络的工作原理(自发的集体行为)注定,不可能保证“答案”绝对正确。事实上,求解这类问题只能依靠精心设计的算法和高精度的数字计算机。

③不宜用来求解用数字计算机解决得很好的问题。

求解一个问题的最佳途径是:由人来寻找好的求解规则,并把它编成算法(程序)。只有在难于找到好的求解规则时,才应该走次佳途径:让神经网络自动地寻找合理的求解规则。由此可见,神经网络只是对数字计算机的补充,而决不可能取代它。

④体系结构的通用性差。

目前已提出了多种神经网络体系结构,但每种体系结构只适用于一类或几类问题,可能不存在象冯·诺依曼体系结构那样简洁、通用的神经网络体系结构。

3. BP 网络特有的优点和缺点

神经网络按照拓扑结构可分为无反馈神经网络和反馈神经网络两大类,两者之间的性质差别很大。在这一节,我们专门讨论最重要的一类无反馈神经网络——BP 网络特有的优点和缺点。

BP 网络的拓扑结构是一个多层前向网络,神经元激活函数是可微函数。BP 网络之所以会成为最重要的一类无反馈神经网络,主要是因为在该网络上发现了获取知识的一种监督学习算法——BP 算法(误差回传算法)。BP 算法的最大优点是:

①BP 算法有可能由 BP 网络本身来执

行。

如果神经元除了具备基本功能外,还能够存储激活函数及其导函数在某一点的值,能够根据下一层连接权的误差值和上述存储值计算自身各个连接权的误差值并进行修正(在添加了上述辅助功能后,神经元的功能仍然是简单的),那么 BP 网络自身就能够执行 BP 算法。这说明,随着 VLSI 技术的进步,有可能将 BP 算法“固化”,从而达到高效地获取知识的目的。

②BP 算法适用于任意一个特定的 BP 网络。

BP 网络除了具有一般神经网络固有的优点和缺点之外,还有下列独特的优点和缺点。

1) 优点

①BP 网络能够通过学习带正确答案的实例集自动提取“合理的”求解规则。

BP 网络之所以能够求解一个问题的某些实例,不是因为人把求解这个问题的一般规则赋予了 BP 网络(表现为程序或精心设计的连接权),而是因为 BP 网络通过学习带正确答案的实例集自动获得了求解这些实例的“合理的”规则(表现为自动调整的连接权)。这使 BP 网络特别适合于求解人们难于找到好的求解规则的问题(如模式识别)。

②BP 网络具有一定的推广能力。

一旦学习完毕,BP 网络就获得了求解训练集中实例的“合理的”规则。可以想象,如果训练集中的实例有代表性,那么求解这些实例的一般规则很可能就是求解原问题的一般规则。于是,如果把不属于训练集的实例输送给这个网络,那么所获得的“答案”很可能就是这个实例的正确答案。

③BP 网络的学习过程有被“固化”的潜在可能性。

一旦把 BP 算法固化在 BP 网络中,该网络的学习效率就会大大提高。

2) 缺点

①学习时间过长,甚至可能达不到学习的目的。

——BP 算法本质上是梯度下降法,它所求最小化的目标函数又非常复杂(其等值面远不是超球面),因此必然会出现“锯齿形现象”,这注定了 BP 算法是低效的。

——为了让 BP 网络能够执行 BP 算法,不能采用传统的一维搜索法求每次迭代的步长,而必须把

步长的更新规则预先赋予 BP 网络,这使得 BP 算法更加低效。

——即使是非场打单的问题, BP 网络学习训练集的次数也要成百上千才能正确地求解它(例如从 XOR 问题的三个实例学会求解 XOR 问题)。

——从问题中选取典型实例组成训练集是困难的。

——BP 网络的学习过程是对一个高度非线性函数求全局最优解的过程,有可能落入“局部最优陷阱”,达不到学习的目的。

虽然采用了种种措施来试图解决上述问题,但这些措施只在某些特殊情况下有效,未能从根本上解决问题^[7]。

②难以解决应用问题的实例规模和网络规模之间的矛盾。

应用问题的实例规模往往很大,理论上要求求解这个问题的 BP 网络的规模与实例的规模相匹配。从另一方面来看,网络规模过大将大大降低网络的推广能力(网络只是在学习一些实例,不能从中提取出求解问题的合理规则),同时在软件模拟和硬件实现时都会遇到很大的困难。

目前,对无反馈神经网络的理论研究主要集中在两个方面:

①在多层前向神经网络上开发既具有上述优点,又能克服上述缺点的学习算法。

②在其它各种体系结构上开发满足上述条件的学习算法。

现在看来,上述研究工作的进展不大。

4. Hopfield 网特有的优点和缺点

Hopfield 网作为典型的反馈神经网络,有下列特有的优点和缺点。

1) 优点

①只有不动点吸引子,没有其它类型的吸引子。

Hopfield 网的这个性质被称为全局稳定性。如果将有用的信息编码为这种网络的不动点吸引子,该网络就有可能从邻近状态自动地搜索到这个吸引子,获得有用的信息。这种原理可用于设计联想存储器。

②网络状态的演化趋于某个二次函数的局部最小点。

一旦用 VLSI 技术实现了 Hopfield 网,就有可能自动而高速地获得某些最优化问题的局部最优解。

2) 缺点

①很难精确地分析 Hopfield 网的性能。

例如,在设计 Hopfield 联想存储器时,必须确定该网络中吸引子的个数,每个吸引子吸引域的范围,并且检验存储和检索的效果,而这是很难的^[7,8]。又如,虽然用这种网络成功地求得了 TSOP(货郎优化问题)某些小规模实例的好解^[9],但由于缺乏必要的理论分析,以致于后来的工作表明这种方法不适用于 TSOP 规模较大的实例^[10]。

②难于找到通用的学习算法。

目前, Hopfield 网解题的能力源于连接权的精巧设计。由于大规模非线性动力学系统的固有复杂性,用设计 BP 算法的那套方法来处理 Hopfield 网是行不通的。

③这类网络的动力学行为过于简单。

Hopfield 网只有不动点吸引子,是一种消极、被动的神经网络。现代非线性动力学理论告诉我们:大型非线性动力系统不仅可能有不动点吸引子,而且可能有极限环吸引子、环面吸引子,以及各种混沌吸引子。

由此可见,与其说 Hopfield 网为我们提供了解决问题的一种实用方法,不如说它为我们提供了这样一种新思想:大规模非线性动力学系统具有各类吸引子这种性质有可能被利用来执行有用的计算!研究各类大型非线性动力学系统和研究系统自组织理论,这是反馈网的发展方向。

最后,我们分析一下分别用反馈神经网络和用数字计算机求解 NP 难的优化问题所存在的各自优缺点。

用反馈网求解一个约束优化问题时,首先要用罚函数法将原问题转化为一个无约束优化问题,然后适当地选取网络体系结构和系统参数,使这个网络的“能量函数”正好就是新问题的目标函数,最后让该网络自动地演化到这个目标函数的局部最优解。基于下列两个原因,用反馈网求解约束优化问题时只能获得“近似解”。

①在使用罚函数法将原问题转化为新问题时,一方面,仅当罚因子趋于无穷时,新问题才和原问题等价^[11];另一方面,罚因子往

往表现为网络中的参数,因此罚因子过大将在软件模拟和硬件实现时遇到不可逾越的障碍,这注定了罚因子只能取得适中。这说明反馈网求解的不是原问题,而是近似问题。

②用反馈网求解优化问题的主要目的是要利用它的高速度和潜在的超高速,因此在保证高速的前题下,理论上不能保证求得全局最优解(虽然用模拟退火算法能够求得组合优化问题的全局最优解,但花费的时间太长)。

NP 难性是计算复杂性理论中的一个重要概念。如果一个问题为 NP 难的,就意味着很难(甚至不可能)构造一个仅使用常数个处理器就能对该问题的每个实例都求得精确解的多项式时间算法。但是,假如放松要求,对每个实例只要求得近似解就行了,就有许多高效的启发式算法^[12]。因此,有必要把用反馈神经网络和用数字计算机求解 NP 难的优化问题各自的优缺点比较于下:

反馈神经网络

优点:不需要了解求解的具体步骤。

潜在的超高速性。

缺点:难以利用关于问题的新知识。

难以分析解的近似程度。

启发式算法

优点:可以充分利用关于问题的新知识。

可以从理论上分析解的近似程度。

缺点:通用性差。

无法利用 VLSI 技术。

5. 结束语

本文较详细地分析了一般神经网络的固有优点和缺点,并且专门对 BP 网络和 Hopfield 网特有的优点和缺点进行了讨论。最后,本文指出了用反馈神经网络和用启发式算法求解 NP 难的优化问题所存在的各自优点和缺点。通过分析可以认识到:在求解实际问题时,应该优先考虑使用数字计算机。仅当人们难以找到好的求解规则时,才考虑让神经网络自动地寻找合理的求解规则,或者通过协同自动地求解复杂问题。神经网络是对数字计算机的补充,而决不是替代。

(参考文献共 12 篇略)

(接第 71 页)

5. 小结

目前,世界上有许多国家在对自适应人机界面进行研究,但尚处于实验、探索阶段。由于自适应界面本身固有的复杂性以及研究时间较短等原因,在这一领域的研究虽然取得了一些成果,但还存在着许多待解决的问题。

为了建立用户模型,需要监视用户的交互作用,并确定哪些信息可被采用。用户模型是系统推理的基础,一旦建立了一个合适的并能用于范围较广的应用的用户模型,自适应界面的研究就会取得较大进展。这方面尚有许多工作有待完成。

目前,市场上已有一些用来支持用户界面的建

立的用户界面管理系统出现。为了建造自适应人机界面,这类系统必须具有在运行时支持不同的对话的能力,还应具有在运行时根据用户模型作出对话决策的能力。然而,现有的 UIMS 都不能满足这些要求。

自适应人机界面由于其固有的优点,吸引了许多国家竞相研究。可以预见,随着软件和硬件技术的发展以及在这方面的研究的进展,将不断会有带自适应界面的系统问世。

致谢 衷心感谢刘锦德教授对本文工作的指导与帮助。

(参考文献共 16 篇略)

更正:本刊 1993 Vol. 20 No. 6“知识进化和高级思维过程的逻辑基础”一文 p12 右栏第 17 行“传统是科学的阻力、是历史的堕落”中,“堕落”应订正为“堕力”。