

优化问题神经网络方法的发展 及有待解决的问题

摘要:一些复杂的优化问题用传统的运筹学方法很难找到最优解,而神经网络本身具有很强的自适应性、鲁棒性和非线性复杂问题的搜索能力,在解决这些问题上有很大的优势。本文探讨了几种用于解优化问题的神经网络的方法,考察了这些神经网络在优化问题的研究进展。在此基础上,提出了一些有待研究的问题。

关键词:优化问题;Hopfield神经网络;混沌神经网络;随机神经网络

一、引言

优化问题涉及范围广,跨度大,几乎理、工、医、农、管理、军事乃至人文经法所有领域,都存在着大量形式多样的优化问题。优化问题已是工程师们寻求最优系统和结构,挖掘系统潜力的有力武器,解决优化问题具有重要的现实意义。优化问题是指在给定的约束条件下,求出使目标函数达到最值的问题,可以自然地分为两类:一类是连续变量的优化问题;另一类是离散变量的问题,即所谓的组合优化问题。对于连续变量的优化问题,一般是求一组实数或一个函数的最值;而在组合优化问题中,是从一个无限集或有限的几个无限集中寻找一个对象——它可以是一个整数、一个集合、一个排列或者一个图,也就是从可行解中求出最优解的问题,TSP问题就是其中典型的一例,它描述的是旅行商经N个城市的最短路径问题。传统的运筹学方法虽然可以解一些简单的优化问题,但如果随着问题的复杂化,这些方法都显得无能为力,而且有许多问题都找不到最优解,特别是组合优化问题中的NP困难问题。对此,我们只能寻找智能化的优化方法来解决。

1985年Hopfield和Tank提出用Hopfield网络求解 $N=30$ 的TSP问题,结果使用900个神经元组成的网络在0.2秒内找到一个次优解,大大缩短了搜索时间,给组合优化NP问题开辟了新的方法,引起人们极大的兴趣。由于神经网络作为一种智能化的方法,它具有很强的自适应性、鲁棒性和非线性复杂问题的搜索能力,在解决这些优化难题上具有明显的优势。在此,我们将对优化问题的神经网络方法进行详细探讨。

二、优化问题神经网络方法的发展

1. Hopfield神经网络

Hopfield网络是Hopfield于1982年首先提出的。它是一种全连接型神经网络,对每个神经元来说,自己的输出信号通过其他神经元又反馈到自己,所以它又是一种反馈型神经网络。Hopfield神经网络状态的演变过程是一个非线性动力系统,系统的稳定性可用所谓的“能量函数”(即Lyapunov函数)进行分析。如果把能量函数视为一个优化问题的目标函数,那么从这个初态朝这个稳定点的演变过程就是一个求解该优化问题的过程。由此可见,Hopfield网络的演变过程是一种解优化问题的过程。1985年Hopfield和Tank就提出用Hopfield网络来求解TSP问题,其基本思想是将TSP映射到一个神经网络上,通过网络的动力学方程自动演化到网络的平衡态,自动搜索到局部最优解。在1986年Tank和Hopfield又提出了一种求解线性规划的神经网络电路模型,并且证明电路可以演化到某一能量函数的最小点,但是他们不能证明这个最小点对应于所考虑问题的解。Tank和Hopfield的这些研究成果为优化问

文/林静怡 朱建平

题开辟了新的方法,引起了人们极大的兴趣。Kennedy 和 Chua 在 1988 年提出了一种修正的 Tank 和 Hopfield 模型,并用非线性电路理论证明了系统将无振荡地收敛到一个稳定的平衡点,他们进一步研究了神经网络的解与优化问题的关系,从而奠定了神经网络求解非线性规划问题的基础。Moore 等人和刘延年等人分别将无约束最优控制问题化成非线性规划问题,然后直接利用 Kennedy 的结果求解。不过由于 Hopfield 网络自身存在一些缺陷,经常出现无效解、局部优化解和不稳定等问题。不少学者也在这方面进行了研究,对初值的设置、能量函数的表达以及参数的大小等方面作了改进。Wilson 和 Pawley 在初始值中加入随机噪声与偏置;Joppe, Cardon 和 Bioch 利用城市的邻接矩阵减少变量的方法得到最优解;Aiyer 通过研究 Hopfield 网络的动力学特性,分析网络特征值,建立了较复杂的能量函数,使网络得到有效解;Zhang 和 Ali 各自通过改进神经网络结构和能量函数使解的结果大为改善;Sze 修改了 Hopfield 算法,使其解能收敛在一个稳定的状态上。

2. 混沌神经网络

所谓混沌,是指在确定性系统中出现的一种貌似无规



则的、类似随机的现象。这种随机是由确定性系统产生的,是一种内在的随机,它是非线性系统特有的现象。混沌的一个轨道可以在其吸引子中稠密。根据这种特性,当时间足够长,这根轨道就能以任意精度逼近吸引子中的任意点。因此,近年来人们开始尝试利用混沌吸引子的这种特性来求解最优化问题,把混沌引入神经网络是使神经网络避免陷入局部极值的有效



策略。

1987 年,Freeman 首先提出了混沌神经元的概念。1990 年,Aihara, Takabe 等人通过在传统神经元的激活函数中引入时间延迟构造了一个混沌神经网络。同时,Inoue 和 Nagayoshi 利用两个混沌振荡子耦合成一个神经元的方法构造出一个混沌神经计算机,这个模型在求解 TSP 问题中取得了良好的效果。此后,人们通过各种各样的方法构造出了性能各异的混沌神经网络,包括通过在神经网络中引入噪声来产生混沌;在混沌神经网络中加入模拟退火算法的混沌模拟退火神经网络;在神经网络运动差分方程中加大时间步长来产生混沌;用一对相互耦合的混沌吸引子作为神经元来构造混沌神经网络等。由于混沌神经网络具有全局搜索能力,以上这些混沌神经网络在求解优化问题中都不同程度地取得了较好的效果,尤其是混沌模拟退火神经网络,不仅具有全局搜索能力,而且稳定性好,收敛速度快。然而,对于一个非线性动力系统,它是否会产生混沌,要取决于系统参数的选择。虽然根据理论分析可以确定某些参数的取值范围,但是某个参数具体应该取什么值还只能通过试验确定,且这些参数没有普遍性,只能针对具体问题具体确定。而且,一个非线性动力系统何时会产生混沌,产生混沌后如何控制混沌的发展,也是一件很困难的事情。

3. 随机神经网络

按照神经生理学的观点,生物神经元本质上是随机的。因为神经网络重复地接受相同的刺激,其响应并不相同,这意味着随机性在生物神经网络中起着重要的作用。随机神经网络正是仿照生物神经网络的这种机理,在人工神经网络中加入了适当的随机噪声。

Boltzmann 随机网络是随机神经网络中研究得最多的网络模型之一,它是 Hinton 在 1985 年提出。它按照热力学中 Boltzmann 概率分布来确定神经元的状态,通过调节网络温度来改变神经元状态变化的概率,且 Boltzmann 随机能够渐近地收敛于全局最优状态。因此, Boltzmann 随机可以用来求解优化问题,通过选择适当的温度参数和能量函数

的定义,按照一定规则更新网络状态后,按概率接受能量函数的小波动,从而使能量函数跳出局部最小点达到最优。不过在求解 TSP 问题上,当城市数量较大时,由于网络状态更新选择的新路径随机性增大,使得网络求解的时间很不稳定。

Gelenbe 随机神经网络是由美国佛罗里达大学教授 Erd Gelenbe 于 1989 年提出的一种随机神经

络。Gelenbe 随机神经网络模仿实际生物细胞根据自身存在电势发射信号的生理行为,第一次使用独立的数学模型描述了生物神经网络接收信号流激活而传导刺激的生理机制。1994 年,Gelenbe 等人又提出动态随机神经网络用于解决组合优化问题。它是建立在 Gelenbe 随机神经网络基础上,通过设定初始值以及增加一个 Cohen-Grossberg 型的动态方程作为负反馈回路来提高网络性能解决问题的。动态随机神经网络和 Gelenbe 随机神经网络的主要区别在于:Gelenbe 随机神经网络的外界信号的输入在初始化以后就保持恒定不变,是一个开环系统,而动态随机神经网络是一个闭环负反馈系统。动态随机神经网络已被成功的应用于解最优化的标志性问题——TSP 问题上。在解决 TSP 问题上,它和 Hopfield 网络一样是使用换位矩阵表示有效路径,定义适当的参数和能量函数。但是由于反馈回路方程的变化,使网络能在一定范围内接受能量函数的小波动,从而跳出局部最小值,克服 Hopfield 解 TSP 的缺点。而且随机神经网络输出是由一组无穷多个 Chapman-Kolmogorov 方程推出的严格的解,使得能量函数变化连续,不会出现求解时间不稳定的情况。

4. 其他神经网络

除了以上三种常用于解优化问题的神经网络以外,许多学者还尝试用其他神经网络解决优化难题。顾洁和范春菊将遗传算法与神经网络相结合,提出了基于混合遗传算法的 TSP 问题的人工神经网络模型;关秦川基于函数联接神经网络,提出了一种解决工程结构多目标模糊优化问题的新算法;Zhang 基于 Lagrange 乘子理论通过构造原问题的 Lagrange 函数,提出 LPNN 网络模型;黄西士和吴沧浦提出了一种基于广义 Lagrange 乘子法的能够精确求解一类动态规划问题的一种神经网络;余道衡和贾积有用参数正交选优神经网络算法解 TSP 问题等。

三、有待解决的问题

许多学者在优化问题的神经网络方法的研究上已经做了不少工作,但是仍然存在一些问题需要我们去解决,笔者认为优化问题的神经网络方法可在以下几个方面做深入的研究:

1. 有效地避免 Hopfield 网络的缺陷

Hopfield 网络是优化问题神经网络方法的基础,但是其优化计算是基于能量函数的梯度下降法,而传统的梯度下降法总是易于落入局部最优解,因此易于落入局部最优解是 Hopfield 网络进行优化计算存在的主要问题。许多学者在这方面也进行了一些探讨,比如将模拟退火算法加入 Hopfield 网络,它的突跳特性可以避免局部极小,但是它的收敛太慢。因此,如何避免 Hopfield 网络在计算优化问题时陷入局部最优解,同时提高其搜索的速度,将成为 Hopfield 网络在优化问题上研究的一个具有现实意义的问题。

2. 合理地控制混沌行为

用混沌神经网络处理优化问题可以避免象 Hopfield 网络那样出现局部最优解,但是利用混沌神经网络的混沌特性的最大困难就是何时结束混沌和怎样控制混沌行为,使网络收敛到一个最优或近似最优的稳定平衡点。这类问题的研究无疑将引导混合神经网络进入一个全新的领域。

3. 完善随机神经网络理论体系

随机神经网络与其他神经网络相比,它所具有的独特学习算法和工作规则使得它在组合优化问题上有着独特的优势。但是它的理论体系建立的比较晚,还有很多理论问题需要进一步去完善,使其更好地用来解决优化问题。

4. 神经网络与其他方法的结合

随着人工智能和数据挖掘的飞速发展,各个研究领域之间的相互渗透,目前出现了许多新的、具有强大功能的搜索方法。因此,研究如何将它们与神经网络相结合来有效地解决优化问题,是优化问题神经网络方法发展的一个动力。

参考文献:

- [1] 刘延年,冯纯伯.神经网络在控制中的若干应用[J].控制与决策,1992,7(2):94-100.
- [2] Wilson GV, Pawley GS. On Stability of Traveling Salesman Problem Algorithm of Hopfield and Tank[J]. Bio Cybern, 1988, (58):63-70.
- [3] 王秀宏,王正欧,乔清理.用具有混沌特性的神经网络解任务分配问题[J].系统工程学报,2001
- [4] 丛爽.自动化理论、技术与应用[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2003,10:163-170.
- [5] Gelenbe E. Random Neural Networks with Negative and Positive Signals and Product Form Solution[J]. Neural Computation, 1989, 1(4):502-511.
- [6] 丛爽,王怡雯.随机神经网络发展现状综述[J].控制理论与应用,2004,21(6):975-985.
- [7] 顾洁,范春菊.TSP的混合遗传算法——人工神经网络模型[J].电力系统及其自动化学报,2001,3(13):17-29.
- [8] 余道衡,贾积有.用参数正交选优神经网络算法解货郎担问题[J].电子学报,1993(7)

(作者单位:厦门大学计划统计系)