

基于遗传算法的神经网络性能优化

张庆红,程国建

(西安石油大学 计算机学院,陕西 西安 710065)

摘要:遗传算法是一种典型的进化算法。文中分析了遗传算法的特点和神经网络的特点,从而得出了把两种算法结合起来进行应用的思想。运用理论对比的方法,阐明了用遗传算法进行神经网络性能优化的原因,并得出结论,认为用遗传算法进行神经网络性能优化促使了神经网络更进一步的应用。阐述了遗传算法优化神经网络的两种主要方法,论述了遗传算法和神经网络的发展现状和将来的研究动向。

关键词:遗传算法;神经网络;进化计算;优化

中图分类号:TP183

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2007)12-0125-03

Neural Network Optimization Based on Genetic Algorithms

ZHANG Qing-hong, CHENG Guo-jian

(School of Computer Science, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

Abstract: Genetic algorithm (GA) is a typical evolutionary algorithm (EA). Characteristics of GA and neural network (NN) were analyzed in the paper. Then there was a conclusion that combining two arithmetics would be applied. The paper used a method of comparing theory to explain the reason of optimizing performance by GA and got a conclusion that optimizing makes NN be applied further. Also explained two main methods of GA optimizing NN, and finally showed the developing status and the trends of the research.

Key words: genetic algorithm; neural network; evolution algorithm; optimization

0 引言

遗传算法(Genetic Algorithm, GA)是基于自然选择和基因遗传学原理的一种搜索算法。它将“优胜劣汰,适者生存”的生物进化原理引入待优化参数形成的编码串群体中,按照一定的适值函数及一系列遗传操作对各个体进行筛选,从而使适应度函数值高的个体被保留下来,组成新的群体。新群体包含上一代的大量信息,并且引入了新的优于上一代的个体。这样周而复始,群体中各个体适应度不断提高,直至满足一定的终止条件。此时,群体中适值最高的个体即为待优化参数的最优解。

神经网络^[1](Neural Networks, NN)理论是近年来人工智能的一个前沿研究领域,是基于连接机制的大规模并行处理和分布式的信息存储。它依靠大量神经元的连接以及这种连接所引起的神经元的不同兴奋状态来表示,系统所表现出的总体行为与当今的计算机

相比,更加接近人脑的信息处理模式。神经网络是一种由多个神经单元以某种规则连接而成的层次网络结构,其基本原理是这些神经元之间“相互牵制”和“相互协作”。它有许多引人注目的特点:对不完全信息、带噪音的信息具有良好的适应性;对非线性输入输出关系的学习更具有优越性。

1 遗传算法和神经网络结合的起因

遗传算法(GA)与神经网络(NN)都是将生物学原理应用于科学研究的仿生学理论成果,尽管二者的产生都受到了自然界中信息处理方法的启迪,但来源并不相同。GA是从自然界生物进化机制获得启示的,而NN则是人脑若干个基本特性的抽象和模拟。因此,它们在信息处理方式上有较大差异。通常,神经系统的变化只需极其短暂的时间,而生物的进化却需以世代的尺度来衡量,二者都有各自的优缺点。

遗传算法在很多领域已得到应用。例如函数优化、模式识别、信号处理滤波器设计等^[2]。从神经网络研究的角度上考虑,最关心的是遗传算法如何对神经网络的性能进行优化。

遗传算法的优点^[3]如下:

收稿日期:2007-03-28

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40572082)

作者简介:张庆红(1981-),女,山西运城人,硕士研究生,研究方向为人工智能和神经网络;程国建,博士,副教授,研究方向为计算智能在石油工程中的应用。

① 遗传算法从问题解的串集开始搜索,而不是从单个解开始。

② 遗传算法求解时使用特定问题的信息极少,容易形成通用算法程序。

③ 遗传算法有极强的容错能力。

④ 遗传算法中的选择、交叉和变异都是随机操作,而不是确定的规则。

⑤ 遗传算法具有隐含的并行性。

尽管神经网络由于自身的超强适应能力和学习能力使其在很多领域获得了极其广泛的应用,解决了许多传统方法难以解决的问题,但是它也存在一些缺陷。比如,神经网络的建立实际上就是一个不断尝试的过程;且它的学习算法存在训练速度慢,易陷入局部极小值和全局搜索能力弱等缺陷。如果能用一种优化算法来弥补神经网络的不足,那么神经网络就能更好地应用到实际问题当中。而从上面遗传算法的优点可以看出遗传算法是一个有效的优化技术,它可以指导权优化和拓扑结构的选择,它不要求目标函数具有连续性,而且它的搜索具有全局性质,因此容易得到全局最优解,或性能很好的次优解。到了 20 世纪末人们开始着手研究把进化计算和神经网络结合起来,其中包括遗传算法和神经网络的结合,即遗传-神经网络。

2 遗传算法优化神经网络性能的方法

进化计算和神经网络的结合促使所谓的“进化人工神经网络”的发展^[4]。一般用这个术语说明一种增加对外部环境适应能力的连接系统。如果把神经网络的学习能力作为一种基于数据研究的适应形式,那么由于进化结构,进化人工神经网络能表现出动态环境下增强的适应能力。这种进化过程通过几种方式来实现。下面主要介绍用进化计算中的遗传算法实现神经网络连接权和拓扑结构的进化。

2.1 神经网络连接权的进化

许多情况下,连接权进化策略趋向于代替古典反传网络中的共轭梯度算法以克服梯度下降法的缺陷。用遗传算法进化神经网络连接权的主要步骤和算子如下:

(1) 编码方案。

对网络中的连接权值和阈值进行编码主要有两种方法:一是采用二进制编码方案,另一种是采用实数编码方案。

在二进制编码方案中,每个权值都用一个定长的 0,1 串表示。阈值也被看作是输入为 -1 的连接权。例如,若所有权值都在 -127 ~ +128 之间,则可以用 8 位 0,1 串把每个连接权值表示出来。然后,把所有的

连接权以及阈值所对应的二进制串连接起来,形成一个长的基因链码。该链码作为对一组连接权的编码表示。

在实数编码方案中,每个连接权值直接用一个实数表示。一个网络权值分别用一组实数来表达。这里同样要求把与同一隐节点相连的连接权所对应的实数放在一起。实数编码方案的优点是它非常直观,且不会出现精度不够的情况。

(2) 适应度函数的确定。

在许多问题求解中,其目标是求某个函数 $g(x)$ 的最小值,而不是最大值。即使某一问题可自然地表示成求最大值形式,但也不能保证到对于所有的 x , $g(x)$ 都取非负值。由于遗传算法中要对个体的适应度进行比较排序并在此基础上确定选择概率,所以适应函数的值要取正值。由此可见,将目标函数映射成最大值的函数形式且函数值非负的适应度函数是必要的。

一般情况下,把一个最小化问题转化为最大化问题,只需要简单地把目标函数乘以 -1 即可。但对遗传算法而言,这种方法不足以保证适应度函数的非负性。对此,可采用以下的方法进行转换:

$$f(x) = \begin{cases} C_{\max} - g(x) \\ 0 \end{cases}$$

显然存在多种方式来选择 C_{\max} 。 C_{\max} 可以是一个合适的输入值,也可采用迄今为止进化过程中 $g(x)$ 的最大值。

(3) 遗传操作。

在连接权进化的应用中,遗传操作可以利用选择、交叉和变异等遗传操作算子,也可以设计专门的操作算子。

连接权进化算法可以这样实现:首先,用遗传算法对初始权值分布进行优化,在解空间中定位出一些较好的搜索空间。然后采用 BP 算法在这些小的解空间中搜索出最优解,然后不断迭代下去。

2.2 神经网络结构的进化

结构进化对避免冗长的训练和使用人类专家知识系统的误差机制很有用,已经成为设计网络拓扑结构最普遍的方式。一般情况下,神经网络的设计基本上依赖于人的经验,或通过不断尝试和修改的方法完成网络的设计。用遗传算法来完成神经网络结构进化可以采取如下步骤^[5]:

① 随机产生 N 个网络结构,对每个结构编码,每个编码个体对应于一个结构;

② 用多种不同的初始权值分布对个体集合里的结构进行训练;

③ 根据训练的结果或其它策略确定每个个体的

适应度;

④ 选择若干适应度值较大的个体直接进入下一代;

⑤ 对当前一代群体进行交叉和变异等遗传操作,以产生下一代群体;

⑥ 重复②~⑤,直到当前一代群体中的某个个体,也就是某个网络结构,能够满足要求为止。

在直接编码方法^[3]中,网络结构的每个连接关系被编码成二进制串。其方法是用一个 $N \times N$ 的矩阵 $C = (c_{ij})$ 表示一个网络的结构,其中 N 是网络的节点数, c_{ij} 的值说明了网络中节点 i, j 之间是否有连接, $c_{ij} = 0$ 表示两节点间没有连接。实际上,当 c_{ij} 取 $[0, 1]$ 中的实数时就表示节点与节点之间的连接关系,既体现出两者之间有无连接,也说明了两节点之间连接的强度,即连接权值。这样一个矩阵就代表一个神经网络。把矩阵的所有行连接起来所得到的一个二进制串就对应一个神经网络结构。网络的约束可以通过矩阵的特殊形式体现。例如在 BP 神经网络对应的矩阵中,只有矩阵的上三角有非零元素。

下面以 XOR 问题为例说明 BP 网络结构编码方法。

假设同层节点之间没有连接, XOR 问题对应的网络可以得到简化。图 1 所示结构及对应的矩阵为

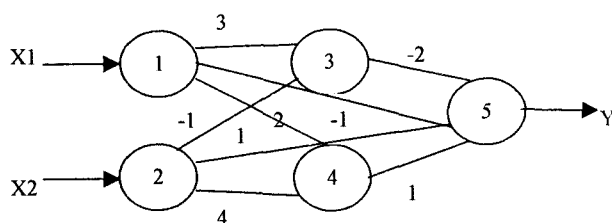


图 1 XOR 问题的一种可能结构

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 3 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

在编码时,如果把每一个元素都做二值化转换,得到的基因链码就很长。其实这样没有必要。实际上,只需考虑主对角线以上的元素,这样不仅使得基因链码较短,而且网络的约束总能得到满足。若对每个元素采用三位字符编码,权值范围为 $-3 \sim 4$,则编码方案为:把每个连接权加上 3,然后用二进制表示:

$$\begin{matrix} 110 & 010 & 101 & 111 & 010 & 100 & 001 & 100 \\ c_{13} & c_{23} & c_{14} & c_{24} & c_{35} & c_{45} & c_{35} & c_{45} \end{matrix}$$

3 遗传算法和神经网络的发展及研究动向

遗传算法和神经网络相结合已成功用于从时间

序列分析来进行财政预算。在这些系统中,训练信号是模糊的,数据是有噪声的,一般很难正确给出每个执行的定量评价。如果采用遗传算法来学习,就能克服这些困难,显著提高系统性能。Muhlenbein 教授^[6]分析了多层感知器的局限性,并猜想下一代神经网络是遗传-神经网络。

遗传-神经网络技术的发展其实主要还是基于遗传算法和神经网络理论各自的不断研究和发展。遗传算法在应用方面的丰硕成果使人们对它的发展前景充满信心,其主要应用领域^[8]在于函数优化(非线性,多模型,多目标等),机器人学(移动机器人路径规划,关节机器人运动轨迹规划等),控制(瓦斯管道控制,防避导弹控制,机器人控制等),规划(生产规划,并行机任务分配等),设计(VLSI 布局,通信网络设计,喷气发动机设计等),组合优化问题,背包问题,图分划问题,图像处理,模式识别特征提取,图像恢复,信号处理滤波器设计等。

遗传算法虽然可以在多种领域都有实际应用,并且也展示了它的潜力和宽广前景。但是,遗传算法还有大量的问题需要研究,目前也还有各种不足。首先,在变量多、取值范围大或无给定范围时,收敛速度下降;其次,可找到最优解附近,但无法精确确定最优解位置;最后,遗传算法的参数选择尚未有定量方法。对遗传算法,还需要进一步研究其数学基础理论;还需要在理论上证明它与其它优化技术的优劣及原因;还需研究硬件化的遗传算法;以及遗传算法的通用编程和形式等。

近十年来,神经网络理论与实践有了引人注目的进展,它再一次拓展了计算概念的内涵,使神经计算、进化计算成为新的学科,神经网络的软件模拟得到了广泛的应用。近几年来科技发达国家的主要公司对神经网络芯片、生物芯片情有独钟。例如^[7] Intel 公司、IBM 公司、AT&T 公司和 HNC 公司等已取得的多项专利,已有产品进入市场,被国防、企业和科研部门选用,公众手中也拥有神经网络实用化的工具,其商业化令人鼓舞。尽管神经计算机、光学神经计算机和生物计算机等研制工作具有艰巨性和长期性,但它现在还只是初露锋芒,有巨大的潜力与机会,前景是美好的。

神经计算和进化计算领域都很活跃,且有新的发展动向。在从系统层次向细胞层次转化里,正在建立数学理论基础。随着人们不断探索新的计算和算法,将推动计算理论向计算智能化方向发展。在 21 世纪人类将全面进入信息社会,对信息的获取、处理和传输问题;对网络路由优化问题;对数据安全和保密问题等

(下转第 180 页)

情况下,文中提出的系统在室内多媒体设备间的无线传输等方面具有很大的实用意义。文中只是初步验证了系统的性能,至于天线阵列的选择和 V-BLAST 检测算法的优化将是下一步研究的重点。

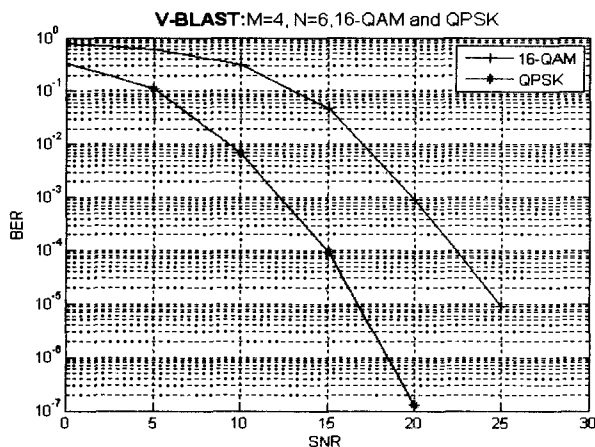


图 6 系统在 16-QAM 和 QPSK 调制模式下的性能比较

参考文献:

- [1] Porcino D, Hirt W. Ultra-wideband radio technology: potential and challenges ahead[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(7): 66-74.
- [2] Siri Wongpairat W P, Su Weifeng, Olfat M, et al. Space-Time-Frequency Coded Multiband UWB Communication Systems[C]//WCNC 2005. [s.l.]: [s.n.], 2005: 426-431.
- [3] 王树军, 毕光国, 黄勇富, 等. 一种采用多天线的 OFDM 超宽带通信系统的性能分析[J]. 电路与系统学报, 2006, 11(4): 104-107.
- [4] Wolniansky P W, Foschini G J, Golden G D, et al. V-BLAST: an architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering wireless channel[C]//1998 URSI International Symposium on Signals, Systems, and Electronics. [s.l.]: [s.n.], 1998: 295-300.
- [5] Golden G D, Foschini G J, Valenzuela R A, et al. Detection Algorithm and Initial Laboratory Results Using V-BLAST Space-time Communication Architecture[J]. Electron Lett, 1999, 35(1): 14-15.
- [6] Haykin S, Sellathurai M, de Jong Y, et al. Turbo-MIMO for wireless communication[J]. IEEE Commun Magazine, 2004, 42(10): 48-53.
- [7] Li Yuan, Luo Zhi Quan. Parallel detection for V-BLAST system[C]//. IEEE International Conference on Communications. [s.l.]: [s.n.], 2002: 340-344.
- [8] Wang Jianming, Zhao Chunming. A semi-blind detection algorithm for V-BLAST system[C]//Global Telecommunications Conference. [s.l.]: [s.n.], 2003: 3366-3369.

(上接第 127 页)

等将有新的要求,这些将成为社会运行的首要任务。因此,神经计算和进化计算与高速信息网络理论联系将更加密切,并在计算机网络领域中发挥巨大的作用,例如,大范围计算机网络的自组织功能实现就要进行进化计算。

4 结论及展望

遗传算法是一种基于生物自然选择与遗传机理的随机搜索与优化方法^[8]。近年来,由于遗传算法求解复杂优化问题的巨大潜力及其在工业工程领域的成功应用,这种算法受到了国内外学者的广泛关注。文中介绍了神经网络理论在应用中的优缺点及研究动向,并分析了遗传算法的优缺点,说明了两者的结合形成遗传-神经网络的原因及两者的结合方法。应该说明的是,除了文中论述的研究动向以外,还有形形色色的、规模可观的研究工作正在进行。

事实上,探究大脑-思维-计算之间的关系还刚刚开始^[3],道路还十分漫长,关于脑的计算原理及其复杂性;关于学习、联想和记忆过程的机理及其模拟等方面的研究已受到人们的关注,它未来的发展必将是激动人心的。神经网络理论的前沿问题将渗透在 21 世

纪科学的挑战性问题中,可能取得重大的突破。总之,在 21 世纪科学技术发展征程中,神经网络理论和遗传算法理论的发展将会更上一个台阶,遗传算法和神经网络结合的应用随之也更为广泛。

参考文献:

- [1] 汪磊. 基于遗传神经网络的入侵检测模型研究[D]. 北京:清华大学出版社, 2005.
- [2] 唐春明, 高协平. 进化神经网络的研究进展[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(10): 91-94.
- [3] 陈建安. 遗传算法理论研究综述[J]. 西安电子科技大学学报, 1998, 25(3): 364-368.
- [4] 吉根林. 遗传算法研究综述[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21(2): 70-73.
- [5] 张颖, 刘艳秋. 软计算方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 69-107.
- [6] 佚名. 遗传算法研究方向[EB/OL]. 中国人工智能网. 2007-02. <http://www.intsci.ac.cn/intro/direction.html>.
- [7] 刘永红. 神经网络理论的发展与前沿问题[EB/OL]. 科研中国. 2006-04-04. <http://www.sciei.com/Article/Computer/200604/Article-5421-6.html>.
- [8] 刘建娟, 徐晓苏. 改进遗传神经网络在组合导航中的应用[J]. 中国惯性技术学报, 2006, 14(5): 24-27.