

文章编号: 1007- 2985(2005) 03- 0118- 03

# 基于遗传算法的神经网络结构优化<sup>y</sup>

曾水玲<sup>1,2</sup>, 宋鸾娇<sup>2</sup>, 徐蔚鸿<sup>1,2</sup>

(1. 吉首大学数学与计算机科学学院, 湖南 吉首 416000; 2. 长沙理工大学计算机与通信工程学院, 湖南 长沙 410077)

**摘要:** 介绍了遗传算法的基本原理, 然后利用遗传算法优化神经网络结构, 形成以遗传算法与神经网络相结合的进化神经网络. 经验证可知, 该算法具有一定的可行性与有效性.

**关键词:** 遗传算法; 神经网络; 优化

**中图分类号:**

**文献标识码:** A

自 1943 年美国生物学家 McCulloch W S 和 Pitts W A 提出 M-P 神经元模型, 人工神经网络理论和应用的发展就十分迅速<sup>[1]</sup>. 尤其是近 15 a, 神经网络技术已渗透到各领域, 在智能控制、模式识别、计算机视觉、非线性优化、连续语音识别、信号处理、图像处理等方面取得了巨大的进展. 遗传算法<sup>[2-3]</sup> 是生物界和自然遗传机制的高度并行、随机、自适应最优化搜索算法, 具有隐含的并行性和对全局信息的有效利用能力, 只需搜索少数结构就能反映搜索空间的大量区域, 利用群体的适应值信息, 通过简单的复制、交叉和变异算子, 就能以很大的概率找到全局最优解. 将遗传算法与前馈网络结合起来, 不仅能发挥神经网络的泛化的映射能力, 而且能使神经网络具有很快的收敛性和较强的学习能力.

## 1 遗传算法

遗传算法基于 Darwin 进化论和 Mendel 遗传学说, 它不能直接处理问题空间的参数, 只能处理以基因链码形式表示的个体; 因此, 在利用遗传算法求解时, 必须把问题的参数形式转换成遗传空间的由基因按一定结构组成的染色体. 优化问题的所有参数都被编码, 形成 1 个有限长二进制字符串(即个体), 所有个体的集合称为群体. 群体中每个个体对应于优化问题的 1 个可行解, 优化问题的目标函数作为群体所处的环境, 目标函数值则作为个体对环境的适应度. 根据 Darwin 适者生存的进化理论, 群体中的个体之间进行生存斗争, 对环境适应度高的个体更多地生存下来, 同时进行交配和突变而繁殖后代, 对环境适应度低的个体则被淘汰. 如此一代代地进化, 整个群体就会最适应所给定的环境, 从而求出优化问题的最优解.

一般遗传算法由 4 个部分组成, 即编码机制、控制参数、适应度函数、遗传算子. 编码机制是遗传算法的基础, 该算法不是对研究对象直接进行讨论, 而是通过某种编码机制将对象统一赋予特定符号按一定顺序排成串. 正如研究生物遗传, 是从基因排成串的染色体着手. 在标准的遗传算法中, 字符集由 0 与 1 组成, 码为二元串. 对于一般的遗传算法, 码串不受此限制, 有十分广泛的理解, 可以是实数, 也可以是字母. 对于优化问题, 1 个串对应 1 个可能解, 优胜劣汰是自然进化的原则. 优胜要有标准. 常用适应度函数来描述每一个体的适宜程度, 适应度函数就是目标函数, 引进适应度函数的目的是根据其适应度对个体进行评

<sup>y</sup> 收稿日期: 2005- 03- 01

基金项目: 湖南省教育厅科研基金资助项目(04C509)

作者简介: 曾水玲(1975- ), 女, 湖南省湘乡市人, 硕士生, 吉首大学数学与计算机科学学院讲师, 主要从事人工智能和软件工程研究.

估比较,定出优劣程度.

最重要的遗传算子有3种,即选择、交叉、变异.选择算子也称复制算子,它的作用是根据个体优劣度决定在下一代是淘汰还是复制.如果只有选择算子,遗传就不会新颖,因为后代不会超出前代群体,因此还需要其他算子.交叉算子和变异算子常被选择.遗传算法的主要特点是使用交叉算子,它使在原来群体中优良个体的特性能在一定程度上保持,同时使算法能探索新的基因空间,从而新的群体个体具有多样性.交叉算子有多种形式,最简单的是单点交叉,即随机抽取2个字符串,随机确定交叉点,将2个串的由交叉点确定的后部分进行交叉,生成2个新的个体.变异算子是改变字符串某个位置上的字符,其作用不能忽视,因为在进化后期,群体中个体的差异已很小,适应度也较接近,此时选择和交叉操作的效果都不大.大量实践证明,变异操作可提高进化后期的收敛速度.

## 2 神经网络结构的优化设计

由于遗传算法具有鲁棒性、随机性、全局性以及适于并行处理的优点,故被广泛应用于神经网络中,对神经网络拓扑结构和连接进行优化学习,并利用其寻优能力获取最佳的网络拓扑结构和最佳权值.

神经网络拓扑结构的设计是神经网络设计的重要内容,其结构的优劣对网络的处理能力有很大影响.好的结构能圆满解决问题,且不允许冗余节点和冗余连接的存在.目前,神经网络的结构设计没有系统的方法,基本依赖于人的经验,或预先确定,或采取递增或递减的探测方法,但这些方法不能避免反向传播算法的不足.利用遗传算法,可以把结构优化问题转换为生物进化过程,通过各种进化方式来获得结构优化的最优解.

### 2.1 遗传算法优化网络结构的基本步骤

(1) 随机产生  $N$  个结构,对每个结构进行编码,每个编码个体对应1个结构;(2) 用许多不同的初始值分别对个体集中的结构进行训练;(3) 根据训练结构或其他策略确定每个个体的适应度;(4) 选择若干适应度值最大的个体,直接承接给下一代;(5) 对当前一代群体进行交叉和变异等操作,产生新一代群体;(6) 重复步骤(2)至步骤(5),直到当前一代群体中某个个体满足要求.

### 2.2 具体实现

利用遗传算法对某异或问题的神经网络进行优化时,采用的方法是列出所有可能存在的神经元,将这些神经元之间所有可能存在的连接权值编成实数码表示的个体;随机生成这些码串的群体,然后反复使用遗传算子对群体进行遗传优化计算;将码串解码成神经网络,计算所有训练样本通过此网络产生的平均误差可以确定每个个体的适应度.

2.2.1 相关假设 (1) 各神经元的连接权值为  $0, 1, -1$ , 当2个神经元之间的连接权值为0时,表示它们之间没有联系.(2) 隐层结点和输出层结点的输出值不反馈给输入结点,隐层结点和输出层结点之间可以反馈.(3) 神经元状态迁移异步进行.假设神经元  $u_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) 在时刻  $t$  的状态为  $O_i(t)$  时,其值为0或1;  $u_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N_i$ ) 是与神经元  $u_i$  相连的神经元,它在时刻  $t$  的状态为  $O_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N_i$ );从  $u_j$  到  $u_i$  的连接权值为  $w_j$ : 那么,  $w_j O_j > 0$  时,  $O_i(t+1) = 1$ ;  $w_j O_j = 0$  时,  $O_i(t+1) = 0$ .

2.2.2 染色体编码 假设神经网络有  $N$  个神经元,输入层、隐层、输出层的结点从1到  $N$  排列.设计1个  $N \times N$  的矩阵,表示其互连结构.矩阵中  $(i, j)$  的元素表示从第  $i$  个神经元到第  $j$  个神经元的连接关系,0表示没有连接,1表示连接权值为1,  $-1$  表示连接权值为  $-1$ ;  $x$  表示没有关连.设神经网络有  $N_{\text{input}}$ ,  $N_{\text{hidden}}$ ,  $N_{\text{output}}$  个神经元,总数为  $N_{\text{input}} + N_{\text{hidden}} + N_{\text{output}}$ .由于  $x$  不包括在优化变量中,所以问题的搜索空间  $N_{\text{state}} = 3^{N_{\text{input}} + N_{\text{hidden}} + N_{\text{output}}}$ .将网络矩阵对应的遗传编码表示为  $0, 1, -1$  组成的数字串形式,按从左到右、从上到下的顺序连接起来,构成染色体编码.

2.2.3 适应度定义 设神经网络输入  $n_{\text{total}}$  次信号,神经网络输出  $n_{\text{correct}}$  次正确解,则适应度函数可采用  $f = n_{\text{correct}} / n_{\text{total}}$  的形式.适应度函数值在  $[0, 1]$  之间,越接近1的个体,其输出信号正确率越高.

2.2.4 遗传操作的设定 首先将当代种群的个体按适应度从大到小进行排序,然后按40%的比例实行下

位个体淘汰,上位个体实行均匀交叉,生成的子个体填补到种群中以保持种群规模不变,最后实施变异操作(变异概率为 0.01),生成子代重群。

2.2.5 网络简化处理 异或问题的神经网络的输入输出信号对为(0,0) 0,(0,1) 1,(1,0) 1,(1,1)

0.对神经网络结构进行简化处理的原则有 2 个:若结点无论输入什么信号,输出永远为 0,则该神经元可以从网络中去掉;若结点到输出结点无可达信号通道,则该神经元也可以从网络中去掉。

### 3 结语

利用遗传算法优化神经网络结构,与传统的优化设计方法相比,有以下特点:(1)不受搜索空间的限制,如导数的连续性或存在性,事实上它不需要任何导数信息;(2)可同时搜索解空间内的许多点,并在优良点的附近繁殖,寻优过程仍不断注意搜索解空间中的更优点,因此避免了传统优化方法仅收敛于局部最优解的不足,从而求得全局最优解;(3)寻优过程虽然具有随机性,但并不是在解空间中盲目地进行穷举式的搜索,而是一种启发式的搜索,其趋优的搜索轨迹仅占解空间的很小部分,因此避免了过大的工作量。

但是,利用遗传算法优化复杂问题的大规模神经网络时,随着神经元数目的增加,权值的总数急剧增加,势必造成搜索空间的增大,遗传优化计算的运算量增大.将遗传算法用于结构优化问题求解的一个最大不足是,每次世代更迭都要进行大量的有限元分析计算,因此应有效地减少有限元分析计算的工作。

#### 参考文献:

- [1] 周志华,曹存根.神经网络及其控制[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [2] 徐宗本,张讲社,郑亚林.计算智能中的仿生学:理论与算法[M].北京:科学出版社,2003.
- [3] 王耀南.智能控制系统 模糊逻辑 专家系统 神经网络控制[M].长沙:湖南大学出版社,1996.

## Neural Network Structure Optimization Based on Genetic Algorithm

ZENG Shu+ling<sup>1,2</sup>, SONG Lu+an+ jiao<sup>2</sup>, XU Wei+hong<sup>1,2</sup>

(1. College of Mathematics and Computer Science, Jishou University, Jishou 416000, Hunan China; 2. College of Computer and Communication Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410077, China)

**Abstract:** The basic principle of genetic algorithm is introduced. Genetic algorithm is used to optimize the topology structure of neural network. Genetic algorithm is combined with neural network so that an evolutionary neural network is formed. The way is proved to be effective and feasible.

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