

基于网络结构进化解决逻辑运算问题

赵建明¹, 姚念民²

(1. 福建师范大学 福清分校, 福建 福清 350300;

2. 哈尔滨工程大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:遗传算法在复杂问题的优化搜索方面具有很好的健壮性和性能。文中模拟自然界的进化过程, 试图使用遗传算法搜索适当的解决问题的神经网络结构。通过构造一个自进化系统, 从单个神经元个体构成的初始群体出发, 模拟自然界中个体的学习、变异、繁殖, 演示系统中群体的自进化过程, 找出解决逻辑运算问题的适当的神经网络结构。实验结果表明, 与标准的 BP 网络比较, 使用遗传算法的自进化系统能够找到解决逻辑运算问题更优的网络结构。

关键词:遗传算法; 自进化; 网络结构

中图分类号: TP183

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)09-0086-04

Solving Logical Computing Problems Based on Neural Network Evolution

ZHAO Jian-ming¹, YAO Nian-min²

(1. Fuqing Branch of Fujian Normal University, Fuqing 350300, China;

2. Harbin Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: Genetic algorithm can effectively solve many complex problems through optimized searching. This paper tried to search the proper neural network structure which could solve the problem by simulating the evolution process of nature using genetic algorithm. Through building a self-evolution system, the proper structure of the neural network that can accomplish logical computations may be found by beginning with a single neuron and then self-evolution. The experimental results indicate that genetic algorithm can help finding a better structure of neural networks than only standard BP network.

Key words: genetic algorithm; self-evolution; network structure

0 引言

遗传算法^[1] (Genetic Algorithm, GA) 是一类借鉴生物界的进化规律演化而来的随机化搜索方法。选择、交叉和变异是遗传算法的三个主要操作算子。遗传算法在求解复杂问题时具有很好的并行性和全局搜索能力, 被广泛应用于旅行商问题求解、组合问题优化等领域^[2]。神经网络的结构包括网络的拓扑结构, 即网络的连接方式和节点之间连接权值两部分。用遗传算法优化神经网络, 主要包含三个方面: 连接权的进化、网络结构的进化、学习规则的进化^[3]。

使用遗传算法优化神经网络连接权值可以在很大

程度上避免经典 BP 学习算法训练速度慢, 易陷入局部极小值等缺点, 文献[4~6]对该问题进行了详细介绍。

神经网络结构的设计通常依赖于人的经验, 文中主要讨论用遗传算法寻找解决问题的合适的神经网络结构。用遗传算法完成神经网络的优化可以采取如下步骤:

(1) 随机产生 n 个结构, 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。

收稿日期: 2010-01-14; 修回日期: 2010-04-13

基金项目: 高效能服务器和存储技术国家重点实验室开放基金项目 (2009HSSA08)

作者简介: 赵建明 (1976-), 男, 福建福清人, 硕士, 讲师, 研究方向为网络与优化; 姚念民, 博士, 教授, 研究方向为网络存储安全与优化。

(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^[3]。

使用遗传算法优化神经网络结构的相关研究可以参考文献[7~12]。

1 逻辑运算问题

逻辑运算问题包含与、或、非、异或等。针对这些运算,构造了以下测试样本:

与(00000)(01000)(10000)(11001)
或(00010)(01011)(10011)(11011)
或非(00101)(01100)(10100)(11100)
异或(00110)(01111)(10111)(11110)

一共16个样本,每个样本包含5个分量,前面2个分量是逻辑运算的2个输入,中间2个分量指示逻辑运算的类型:00-与;01-或;10-或非;11-异或,最后一个分量表示预期的输出结果,比如对于向量(00101),第3、4个分量指示对1、2分量进行或非运算,则期望运算结果如下(! (0+0))=1,最后1个分量指示期望输出结果为1。

2 自进化系统的构造

构建了自进化系统,预期通过系统的自进化,找到解决逻辑运算问题的较优的神经网络结构。

系统运行流程描述如下:

(1)初始化系统,开始时系统有1000个个体,每个个体只有一个输出神经元。

(2)初始化训练样本集合,系统随机生成500个训练样本,当个体正确识别一个样本,给予一定的食物奖励。

(3)每个个体从样本集合中随机选取一个样本进行识别。

(4)根据识别结果对个体采用BP算法进行训练,调整个体连接权值。

(5)根据个体的识别结果给每个个体分配相应的食物。

(6)更新系统个体集合,增加个体的生存时间,减少个体的食物数量,对于生存时间超过上限或食物数量消耗光的个体进行淘汰。

(7)对满足一定条件的个体进行繁殖,对后代个体进行变异。

(8)重复(3)-(7),直到当前一代群体中的某个个体能够满足要求为止。

1)个体生存。

自进化系统以周期作为时间计数单位,在每个周期中,系统中所有个体都会获得对训练样本进行

识别的机会(相当于对食物进行识别),运算结果正确的个体获得一定的食物奖励。每个个体每个周期都要消耗食物,如果食物消耗光个体会死亡。初始化时每个个体获得20个单位的食物。个体的最大生存周期为个体细胞数量*100。

2)个体学习。

个体在每个周期中对训练样本进行识别,根据识别结果的正确性,采用BP算法调整网络连接权值。调整后的网络连接权值可以直接遗传给后代,拉马克进化机制^[13]指出,生物体能够传递在周围环境中适应并且生存的能力。

3)个体繁殖。

个体在满足一定条件下可以进行繁殖。条件1:生存时间,每个个体生存时间达到个体细胞数量*20后开始成年,具有繁殖条件。条件2:具有繁殖条件的个体必须积累足够食物才能够开始繁殖,个体积累的食物必须达到生存40个系统周期所需的食物才能进行繁殖,父代保留生存20个系统周期所需的食物,多余食物用于繁殖,繁殖时需要消耗一定的食物,作为后代初始化时的食物。繁殖有2种形式:无性繁殖和有性繁殖。

4)无性繁殖。

单细胞个体只能进行无性繁殖,无性繁殖时,子代的初始食物全部由单亲父代提供,子代个体繁殖数量由父代的食物数目决定。多细胞个体在找不到配偶情况下也进行无性繁殖。无性繁殖时子代直接复制父代的结构,从父代获得初始食物,并进入变异过程。

5)有性繁殖。

多细胞个体在有合适配偶时进行有性繁殖,合适的配偶必须满足以下条件:1.细胞个数相同的个体才能结成配偶;2.配偶必须是已成年;3.配偶的食物数量必须达到繁殖所需的食物数量。繁殖后代需要的食物由双方共同承担。子代的结构由两个父代中各取一部分交叉构成,从两个父代获得初始食物,并进入变异过程。

6)变异过程。

子代在生成时有一定的机率发生变异。有30%机率发生结构变异,调整网络连接结构,有20%机率变异增加1个细胞,新增细胞与其它细胞的连接及权值随机生成。

7)食物及群体控制。

系统通过控制食物数量来控制群体的大小,当群体数量太大时,由于食物数量有限,自然会淘汰掉适应性不强的个体,对于能够正确识别食物的个体,由于能够获得较多的食物,在个体繁殖时占有优势。

8) 编码方案。

对于 n 个神经元细胞构成的个体, 系统采用两个 $(n+4) \times (n+4)$ 的矩阵分别保存个体的连接结构及权值。图1给出了3个神经元细胞构成的个体(其中0-3为输入神经元, 不计入个体神经元细胞数目), 其对应的连接矩阵如图2所示。 $c[0][4]$ 为1表示节点0和节点4之间存在着连接, 连接权值保存在和连接矩阵具有相同结构的权值矩阵中。由于是前向连接网络, 所以矩阵只能是上三角矩阵。节点的阈值直接保存在权值矩阵的主对角线上。

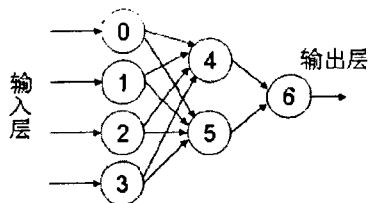


图1 3个细胞构成的网络拓扑图

0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	1	1	0
$c=0$	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0

图2 图1对应的连接矩阵

9) 交叉过程。

多细胞个体进行有性繁殖时, 随机生成一个交叉位置 x (不含输入节点), 子代的连接矩阵和权值矩阵分别取父代1的前面 x 列和父代2的后面 $(n+4-x)$ 列构成。

10) 变异过程。

对于结构变异, 在连接矩阵的上三角矩阵中(不含输入节点) 随机生成一个位置, 对该位置的连接信息进行取反, 并相应调整权值矩阵信息。

对于增加节点变异, 随机生成节点插入位置 x , 在矩阵中插入新的行和列, 随机生成该节点和其它节点的连接信息和权值信息及新节点的阈值。

算法流程描述如下:

(1) 随机生成位置 x 前的每个节点与新插入节点之间的连接。

(2) 如果两个节点之间有连接, 在 $[0, 1]$ 之间随机生成1个小数作为该连接的权值。

(3) 随机生成新插入节点和位置 x 后的每个节点之间的连接。

(4) 如果两个节点之间有连接, 在 $[0, 1]$ 之间随机

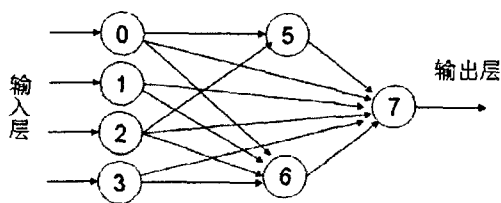
生成1个小数作为该连接的权值。

(5) 在 $[0, 1]$ 之间随机生成1个小数作为新增节点的阈值。

经过上述步骤后生成的新个体的网络结构仍然是前向连接网络。

3 实验结果

系统使用 VC6.0 开发实现, 在运行 3800 个周期后找到的解决逻辑运算问题的网络结构之一如图3所示。

图3 自进化系统找到的解决逻辑运算问题的网络结构
对应的连接矩阵和权值矩阵分别如图4、图5所示。

0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	1	1	1
$C=0$	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0

图4 图3对应的连接矩阵

0	0	0	0	4.8000	7.2900	-15.9800
0	0	0	0	0	7.4700	-15.7300
0	0	0	0	9.2100	-0.2400	-9.5100
$W=0$	0	0	0	0	9.7700	-8.3900
0	0	0	0	2.0500	0	19.2900
0	0	0	0	0	13.5700	32.2400
0	0	0	0	0	0	6.0900

图5 图3对应的权值矩阵

对16个样本的平均识别误差为0.01, 对每个样本的识别误差如下:

0.02 0.00 0.02 0.01 0.00 0.03 0.00 0.02 0.02
0.00 0.00 0.01 0.02 0.00 0.00 0.01

在 MATLAB 7.0 下, 作为比较, 构建了标准 BP 网络^[14], 设置隐含层的激活函数为 tansig , 输出层的激活函数为 logsig , 训练函数为 trainlm , 训练后的目标误差为0.01, 学习速率为0.1, 训练上限次数为10000次。在2个隐层神经元和一个输出层神经元情况下 BP 算法无法达到目标误差要求。为解决逻辑运算问题, 在

3个隐层神经元和一个输出层神经元情况下BP算法能够达到目标误差要求。网络拓扑结构如图6所示。训练后对每个样本的识别误差如下:

0.1151 0.0306 0.0099 0.0696 0.1124 0.0280
0.0162 0.0722 0.0362 0.0002 0.0286 0.0124 0.0975
0.0176 0.0069 0.1366

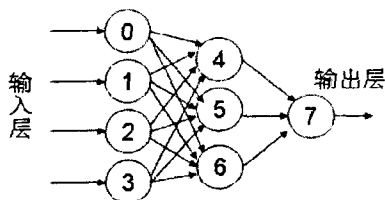


图6 标准BP网络解决逻辑运算问题的网络结构

可见,自进化系统能够找到更优的解决逻辑运算问题的网络结构。

4 结束语

通过自进化系统寻找解决逻辑运算问题的神经网络结构,并与标准BP网络解决逻辑运算问题的网络结构进行比较。实验结果表明,自进化系统能够找到更优的解决问题所需的网络结构。

参考文献:

- [1] 卢格尔. 人工智能复杂问题求解的结构和策略[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [2] Tsai Huai - Kuang, Yang Jinn - Moon, Tsai Yuan - Fang, et al. An Evolutionary Algorithm for Large Traveling Salesman

Problems[J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics - Part B: Cybernetics, 2004, 34(4): 1718 - 1729.

- [3] 阎平凡, 张长水. 人工神经网络与模拟进化计算[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [4] Yao X. Evolutionary Artificial Neural Networks[J]. International Journal of Neural Systems, 1993, 4(3): 203 - 222.
- [5] Yao X. A New Evolving System for Evolving Artificial Neural Networks[J]. IEEE Trans NN, 1997, 8(2): 694 - 713.
- [6] Yao X. Evolving Artificial Neural Networks[J]. Proc IEEE, 1999, 87(5): 1423 - 1447.
- [7] 张秉森, 王莹, 李莉. 遗传算法改进BP网络对织物配色的优化研究[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(19): 5033 - 5036.
- [8] 王宏刚, 钱锋. 基于遗传算法的前向神经网络结构优化[J]. 控制工程, 2007, 14(4): 387 - 390.
- [9] 李智勇, 童调生. 基于多物种进化遗传算法的神经网络结构学习方法[J]. 计算机工程与设计, 2003, 39(22): 87 - 90.
- [10] 高坚, 贺秉庚. 网络结构拓扑扩展的混合遗传算法[J]. 计算机工程与科学, 2002, 24(3): 3 - 4.
- [11] 黄浩, 宋瀚涛, 陆玉昌. 基于小生境遗传算法的贝叶斯网络结构学习算法研究[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(4): 100 - 103.
- [12] 方建安. 采用神经网络学习的网络控制器[J]. 控制与决策, 1993, 3(3): 208 - 212.
- [13] 拉马克. 动物哲学[M]. 北京:商务印书馆,1936.
- [14] 张良均, 曹晶, 蒋世忠. 神经网络实用教程[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [15] 黄柳萍, 冯朝一, 周明. 一种新型的基于密度-网格的自适应免疫聚类算法[J]. 福建电脑, 2009(8): 83 - 84.
- [16] 屠莉, 陈峻, 邹凌君. 数据流的网格密度聚类算法[J]. 小型微型计算机系统, 2009(7): 1376 - 1382.
- [17] 印桂生, 于翔, 宁慧. 一种基于网格的增量聚类算法[J]. 计算机应用研究, 2009(6): 2038 - 2040.
- [18] 孟建良, 程伟想, 牛为华. 基于网格距离的高精度聚类算法[J]. 计算机应用与软件, 2009(6): 262 - 264.
- [19] 戴维迪, 张璐, 王文俊, 等. 基于网格密度和距离信息特征的聚类算法[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2009(4): 18 - 23.
- [20] 孙玉芬, 卢炎生. 一种基于网格方法的高维数据流子空间聚类算法[J]. 计算机科学, 2007(4): 199 - 203.
- [21] 刘敏娟, 柴玉梅, 张西芝. 基于相似度的网格聚类[J]. 计算机工程与应用, 2007(7): 198 - 201.
- [22] 单世民. 一种基于网格和密度的微粒群混合聚类算法[J]. 计算机科学, 2006, 33(11): 164 - 165.

(上接第85页)

- space Clustering of High Dimensional Data for Data Mining Applications[C]//Proc. of the ACM SIGMOD Int'l Conference on Management of Data. Seattle, Washington: [s. n.], 1998: 94 - 105.
- [9] Cheng C - H, Fu A W, Zhang Y. Entropy - based Subspace Clustering for Mining Numerical Data[C]//Proceedings of the Fifth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. [s. l.]: ACM Press, 1999: 84 - 93.
- [10] Zhang Ji, Hsu W, Lee Mong Li. Clustering in Dynamic Spatial Databases[J]. Journal of Intelligent Information Systems, 2005, 24(1): 5 - 27.
- [11] 陈宁, 陈安, 周龙骧. 基于密度的增量式网格聚类算法[J]. 软件学报, 2002(1): 1 - 5.
- [12] 姚玉钦, 李金广. 基于网格的层次聚类算法[J]. 河南师范大学学报: 自然科学版, 2009(4): 42 - 44.
- [13] 白鹭, 马骥. 基于测度的网格聚类算法[J]. 沈阳大学学报, 2009(4): 61 - 63.
- [14] 刘敏娟, 李勇军. 自动化网格聚类探究[J]. 软件导刊, 2009