

多种地震信息预测油气的 自组织神经树模型

蔡煜东 许伟杰

(中国科学院上海冶金研究所, 200050)

本文提出油气预测的自组织神经树模型,并选取一组标样作为研究对象,预测成功率达 100%,结果表明,该方法性能良好,可望成为利用地震信息预测油气的一种有效辅助手段。

关键词 地震信息 油气预测 人工神经网络 自组织神经树模型

第一作者简介 蔡煜东 男 26 岁 助研 从事人工神经网络、遗传算法的理论及应用研究

0 引言

综合多种地震信息判别预测油气藏已在石油物探领域得到不同程度的应用。1984 年高如曾应用数理统计及 Fuzzy 评判等 6 种方法对川南丹凤场地区油气富集状况作了多种地震信息的综合评判,1990 年肖辞源等也利用 Fuzzy 理论(张正陶等,1986)建立了各种地震信息的隶属函数(R. Hecht-Nielsen, 1993);根据建立的函数关系通过多层次的综合评判以及入水平集合分类,预测油气聚集的高产、低产和非产区。

人工神经网络是 80 年代中期迅速兴起的一门非线性科学,它在模式识别、数据处理及自动化控制等领域已得到了初步应用,取得了很好的效果(R. Hecht-Nielsen, 1989)。

本文运用自组织神经树模型,建立了综合多种地震信息判别预测油气的计算机智能专家系统,有关这方面的研究工作尚未见报道。

1 人工神经网络——自组织神经树模型

1993 年, Tao Lietd 提出了自组织神经树网络。它是一个多层树状网络(图 1),每个输入节点与所有神经树的节点(神经元)通过权 W 相联系,实现对信号的非线性降维映射。映射中保持拓扑不变性,即把拓扑意义下相似的输送映射到相同子树的节点上。自组织神经树目前已被用于模式识别、图像压缩、语音处理等问题中,取得了优于传统方法的效果(R. Hecht-Nielsen, 1989)。

自组织神经树在能被用来进行正确分类之前需要经过一个学习过程,这是一种无教师指导的学习,网络权根据输入的训练样本进行自适应、自组织、依次收敛于某个(或几个)子树,即收敛到样本空间内需划分的子集中心。经过学习后,神经树具有了对学习样本的记忆、联想的能力。

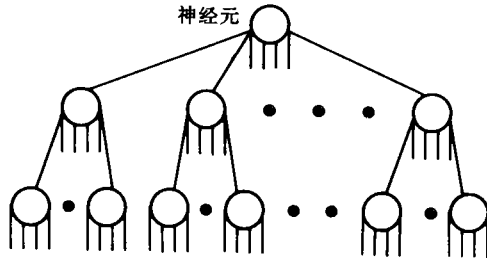


图 1 经典的神经树结构

神经树的学习算法[本文选择 OSSU 算法(T. Li et al. ,1993),即 Orderd Search Sub-tree Update]如下:

设样本特征数(输送节点个数)为 N ,神经树的节点数(不含树根)为 K ,深度(深度=网络层数-1)为 DP 。

Step 1:随机给定网络初始权

$$0 < W_{ij} < 1, i = 0, 1, \dots, N-1; j = 0, 1, \dots, K-1$$

Step 2:赋当前层数 $lev = 1$

Step 3:输送一个新样本

$$x = [x_0, x_1, \dots, x_{N-1}]^T$$

从第一层逐层迭代,寻找 x 到当前层的最近节点 j^* ,

初始: j^* 为树根节点

FOR $k=1$ TO lev DO

$$dj(t) = \sum (x_i - W_{ij}(t))^2,$$

$$dj^*(t) = \min \{dj(t)\},$$

$j \in MEj^*(t); MEj^*(t)$, 节点 j^* 的所有子树节点。

Step 4:调整网络权

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \alpha(t)(x_i - W_{ij}(t)), j \in NEj^*(t)$$

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t), j \notin NEj^*(t)$$

其中, $i = 0, 1, \dots, N-1; 0 < \alpha(t) < 1$,增益函数,随时间递减; $NEj^*(t)$,节点 J^* 的所有子树节点(包括 j^*)。

Step 5:转 Step 3。

当所有样本输入一遍后,满足 $lev = DP$,学习结束,否则 $lev = lev + 1$,进入下轮学习。有关算法的详细性质和特点可查阅参考文献 4。

2 自组织神经树应用于油气藏预测

2.1 数据来源

参考文献 6 报道了四川观音场构造阳新统上部 P_1^{-3} 层地震信息的若干实测数据,详见表 1。其中,根据油气藏的大小将 17 口井分为 3 类:

表 1 地震信息原始数据表*

| 井号 | 振幅 | | | | 相位/mm | | | | 频率/Hz | | | | 构造速率/ 10^{-2} | | | | 速度/ $(m \cdot s^{-1})$ | | | | 视极性 | | | | 低速层厚度/m | | | | | | |
|----|------|------|------|------|-------|----|-----|----|-------|-------|-------|------|-----------------|------|------|------|------------------------|----|-----|----|-----|----|-----|----|---------|----|-----|----|----|----|-----|
| | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III | IV | I | II | III |
| 1 | 1625 | 1625 | 2750 | 2750 | 4 | 4 | 4 | 30 | 30 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 5142 | 5142 | 5142 | 5142 | 1 | 1 | 1 | 1 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | |
| 2 | 1625 | 1625 | 2750 | 2750 | 7 | 8 | 5 | 10 | 20 | -0.07 | -0.10 | 0.12 | 4971 | 4971 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | -1 | -1 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 3 | 1625 | 1625 | 1625 | 1625 | 3 | 3 | 3 | 40 | 40 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 5142 | 5142 | 5142 | 5142 | 1 | 1 | 1 | 1 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | |
| 4 | 2750 | 1625 | 2750 | 2750 | 5 | 5 | 5 | 15 | 15 | 0.30 | 0.29 | 0.28 | 4800 | 4971 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | -1 | -1 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 5 | 1625 | 1625 | 1625 | 1625 | 5 | 8 | 5 | 20 | 20 | 0.16 | 0.17 | 0.18 | 5142 | 4971 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | -1 | -1 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | |
| 6 | 1625 | 1625 | 1625 | 1625 | 5 | 5 | 5 | 10 | 10 | 0.40 | 0.41 | 0.41 | 4971 | 4971 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | -1 | -1 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | |
| 7 | 1625 | 1625 | 1625 | 1625 | 5 | 4 | 6 | 15 | 15 | 0.15 | 0.10 | 0 | 4971 | 4971 | 4971 | 5485 | 1 | -1 | -1 | -1 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 8 | 1625 | 1625 | 1625 | 1625 | 6 | 6 | 6 | 15 | 15 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 4971 | 4971 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | -1 | -1 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 9 | 1625 | 1624 | 700 | 2750 | 5 | 5 | 4 | 15 | 15 | 0.31 | 0.30 | 0.28 | 4971 | 4971 | 4971 | 4971 | 1 | -1 | 1 | 1 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | |
| 10 | 1625 | 1625 | 1150 | 1150 | 5 | 6 | 6 | 30 | 10 | 0.31 | 0.32 | 0.33 | 4971 | 4971 | 4971 | 5485 | -1 | -1 | -1 | -1 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 11 | 2750 | 1625 | 2750 | 2750 | 7 | 6 | 6 | 40 | 15 | 0.13 | 0.14 | 0.14 | 4971 | 4971 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | 1 | 1 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 12 | 2750 | 2750 | 1625 | 1625 | 3 | 7 | 3 | 35 | 35 | 0.10 | 0.15 | 0.10 | 5142 | 5142 | 5142 | 5142 | -1 | -1 | 1 | 1 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 13 | 2750 | 1625 | 1625 | 1625 | 7 | 7 | 7 | 15 | 10 | 0.24 | 0.24 | 0.26 | 5142 | 4971 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | -1 | -1 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 14 | 2750 | 2750 | 2750 | 2750 | 7 | 7 | 6 | 35 | 20 | 0.29 | 0.30 | 0.31 | 5314 | 5314 | 5314 | 5314 | 1 | -1 | -1 | -1 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 15 | 3875 | 1625 | 2750 | 2750 | 6 | 6 | 5 | 10 | 10 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 4971 | 4971 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | 1 | 1 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | |
| 16 | 2750 | 2750 | 2750 | 2750 | 3 | 4 | 3 | 30 | 30 | 0.18 | 0.19 | 0.20 | 5142 | 5142 | 5142 | 5142 | 1 | 1 | 1 | 1 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | |
| 17 | 2750 | 1625 | 5000 | 5000 | 6 | 6 | 6 | 15 | 10 | 0.10 | 0.10 | 0.12 | 5314 | 5314 | 5314 | 5314 | -1 | -1 | 1 | 1 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | |

资料来自文献 4

表 2 12 个学习样本

| 振幅 | 相位(mm) | | 频率(Hz) | | 构造曲率(%) | | 速度(m/s) | | 视觉性 | | 低速层厚度 | | 节点位置 | 类别 |
|------|--------|----|--------|----|---------|------|---------|------|-----|----|-------|----|------|----|
| | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | | |
| 2750 | 2750 | 3 | 30 | 30 | 0.18 | 0.19 | 5142 | 5142 | 1 | 1 | 20 | 20 | 1 | 1 |
| 1625 | 2750 | 4 | 30 | 30 | 0.1 | 0.1 | 5142 | 5142 | 1 | 1 | 20 | 20 | 1 | 1 |
| 1625 | 1625 | 3 | 30 | 40 | 0.11 | 0.10 | 5142 | 5142 | 1 | -1 | 40 | 40 | 4 | 2 |
| 1625 | 700 | 5 | 15 | 15 | 0.31 | 0.30 | 4971 | 4971 | 1 | -1 | 40 | 40 | 4 | 2 |
| 2750 | 1625 | 3 | 35 | 35 | 0.1 | 0.15 | 5142 | 5142 | -1 | -1 | 30 | 30 | 1 | 2 |
| 2750 | 1625 | 6 | 15 | 10 | 0.1 | 0.1 | 5314 | 5314 | -1 | -1 | 20 | 20 | 3 | 2 |
| 1625 | 2750 | 7 | 10 | 20 | -0.07 | -0.1 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | 30 | 30 | 2 | 3 |
| 2750 | 1625 | 5 | 15 | 15 | 0.3 | 0.29 | 4800 | 4971 | -1 | -1 | 30 | 30 | 0 | 3 |
| 1625 | 1625 | 5 | 30 | 10 | 0.31 | 0.32 | 4971 | 5485 | -1 | -1 | 30 | 30 | 0 | 3 |
| 2750 | 1625 | 7 | 40 | 15 | 0.13 | 0.14 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | 30 | 30 | 2 | 3 |
| 2750 | 1625 | 7 | 15 | 10 | 0.24 | 0.24 | 5142 | 4971 | -1 | -1 | 30 | 30 | 0 | 3 |

表 3 5 个“未知”样本

| 振幅 | 相位(mm) | | 频率(Hz) | | 构造曲率(%) | | 速度(m/s) | | 视觉性 | | 低速层厚度 | | 节点位置 | 预测类别 | 实际类别 |
|------|--------|----|--------|----|---------|------|---------|------|-----|----|-------|----|------|------|------|
| | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | | | |
| 2750 | 2750 | 7 | 35 | 20 | 0.29 | 0.30 | 5314 | 5314 | 1 | -1 | 30 | 30 | 3 | 2 | 2 |
| 1625 | 1625 | 6 | 15 | 15 | 0.07 | 0.06 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | 30 | 30 | 2 | 3 | 2 |
| 3875 | 1625 | 6 | 10 | 10 | 0.07 | 0.06 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | 30 | 30 | 2 | 3 | 3 |
| 1625 | 1625 | 5 | 10 | 10 | 0.4 | 0.41 | 4971 | 4971 | -1 | -1 | 40 | 40 | 0 | 3 | 3 |
| 1625 | 1625 | 5 | 15 | 15 | 0.15 | 0.1 | 4971 | 5485 | 1 | -1 | 30 | 30 | 0 | 3 | 3 |

- 第一类：非产区；
- 第二类：低产区；
- 第三类：高产区。

2.2 计算机预测系统的建立

首先,随机选取其中 11 口井(11 个样本),作为神经树的“学习”教材,以其特征变量(7 种地震信息,每种信息包括 3 道指标)作为神经树的输入。神经树为 2 层 6 节点(1→5)结构(图 2)。经过学习,神经树能较为正确地划分这些样本,1 节点代表第 1 类;4、3 节点代表第 2 类;0、2 节点代表第 3 类,建立了油井地震信息与油气藏之间的复杂对应关系(表 2)。

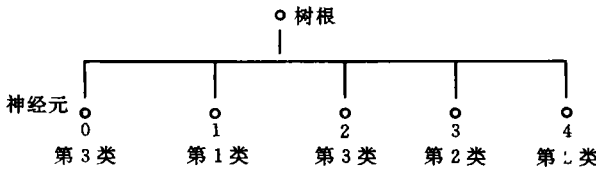


图 2 分类结果

3 预测成功率

为了考验所建立的模型,将未参加训练的 5 个样本作为“未知”样本,由已掌握了知识信息的神经树对其进行预测,按照其最近距离输出节点(即最大相似点)的类别决定其类别。由表 3 可见,预测结果与实际情况完全一致。

4 结论

运用自组织神经树,综合地震信息及井的先验信息来预测油气,取得了令人满意的结果,该方法同一般多因子判别法相比,有如下优点:

4.1 容错能力强

神经树模型中,知识信息分布存储于各个单元中,个别输入信号误差变大不会引起识别错误,即用一个不完整或模糊的信息,神经树可联想到存贮在记忆中的某个完整、清晰的图像来,因此不失一般性。本研究中将每个未知样本的第 10 个输入信号(x_{10})各增加 0.01 作为“构造样本”进行识别,它们与原来样本的识别结果比较见表 4。

表 4 个别输入信号误差变大对网络性能的影响

| 最近输出节点位置* | 预测类别* | 最近输出节点位置 | 预测类别 |
|-----------|-------|----------|------|
| 3 | 2 | 3 | 2 |
| 2 | 3 | 2 | 3 |
| 3 | 3 | 2 | 3 |
| 0 | 3 | 0 | 3 |
| 0 | 3 | 0 | 3' |

* 为构造样本

4.2 学习、预测速度快

自组织神经树在进行训练、识别时仅需作少量的加法和乘法,因此,学习、预测速度快。鉴于此,可以预料,随着人工神经网络理论的进一步发展,可望成为油气预测的有用工具。

(收稿日期:1994年4月24日)

参 考 文 献

- 1 高如曾等. 预测油气富集的数理统计法. 石油地球物理勘探, 1984, (4)
- 2 张运陶等. 利用微机实现 Fuzzy 综合评判. 石油地球物理勘探, 1986, (3)
- 3 R. Hecht-Nilsen. Theory of the Backpropagation Neural Network. Int. J. Conf. on Neural Network, Washington D. C. June, 1989
- 4 T. Li, L. Fang and K. Q. Li. Hierarchical classification and vector quantization with neural network treca. Neurocomputing, 1893, 5(2~3)
- 5 尹红风, 戴汝南. 模式识别与人工智能, 1990, 3(1): 1
- 6 肖辞源等. 综合多种地震信息预测油气富集区的模糊数学方法. 石油地球物理勘探, 1990, (2)

A SELF-ORGANIZING NERVE-TREE MODEL OF VARIOUS SEIMIC INFORMATION FOR HYDROCARBON PREDICTION

Cai Yudong Xu Weijie

(Shanghai Institute of Metallurgy, CAS)

Abstract

A self-organizing nerve tree model for hydrocarbon standard prediction was presented and a group of training samples were selected as study objective in the paper, in which the successful rate for prediction is 100%. Could be with high quanlity, the model therefore could be a potential for hydrocarbon predition on seismic information.