

54-06, 65

基于 BP 算法的金刚石钻头设计专家中的配方设计子系统*

张绍和 赵显富 刘琛 鲁凡 张泰山

(中南工业大学·长沙·410083)

634.41

介绍了金刚石钻头设计专家系统中的配方设计子系统(BPFES),包括多层感知机数学模型和 BP 算法,专家子系统的设计、钻头配方参数样本的网络训练;给出了钻头配方设计的典型数据。实践证明 BPFES 用于钻头配方设计是可行的,具有人工智能的特性。

关键词 神经网络 BP 算法 金刚石钻头

专家系统 配方设计子系统

在孕镶金刚石钻头设计中,如何确定其配方参数,直接影响到钻头的质量,采用人工智能技术,基于神经网络中 BP 算法的钻头配方设计专家子系统能较好地解决这一问题。BP 算法,又称反向传播模型^[1],目前已有多种形式,本课题选用的是逐次修正法。金刚石钻头配方设计专家子系统(BPFES)的做法是:在金刚石钻头设计中,将钻头规格、钻进岩石性质和钻头使用条件等参数相结合来确定钻头配方,在实际生产使用中收集一批较理想的样本数据,经 BPFES 运算和推理获得输出样本数据,最后从中确定钻头配方参数值。

BPFES 设计中,选择金刚石钻头外径 D 、内径 d 、钻机转速 n 、钻压 P 、冲洗液量 Q 及岩石 A 值(岩石对金刚石磨损)和 B 值(岩石对胎体磨损)共 7 个参数作为神经网络输入。经过神经网络推理,得到钻头配方的输出样本值,即金刚石品级、粒度、浓度、胎体骨架成份比例、胎体粘结成份比例。

BPFES 包括主控模块、BP 算法模块、原始数据读取模块、公式计算模块、输入样本参数标准化处理模块、专家处理及输出模块等。设计方案采用模块化及多种语言组合编程技术(C 语言、数据库等),优点是既可作为大系统的一部分,又可单独运行,具有灵活性。

1 BPFES 设计

1.1 主控模块设计

主控模块实现对 BPFES 中各功能模块的调用,通过功能菜单调用系统中诸如网络学习、初始化计算、输入样本、结果输出等,具有较好的交互式性能(图 1)。

1.2 BP 算法模块设计

BPFES 中采用典型的具有教师指导的三层神经

网络结构^[2],其数学模型是在单层神经网络基础上发展起来的。三层神经网络 BP 算法步骤描述如下,相应符号见表 1。

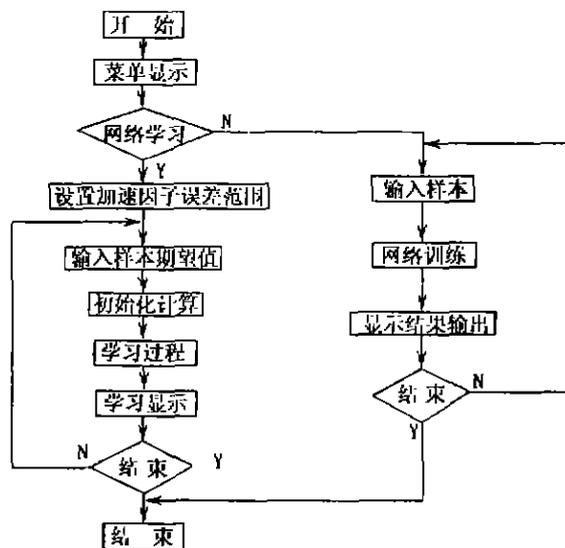


图 1 主控模块框图

表 1 三层神经网络中的 BP 算法符号说明

序号	意义
I_i	输入层单元 i 的输出
H_j	中间层单元 j 的输出
O_k	输出层单元 k 的输出
T_k	对输出层单元 k 的教师信号
W_{ji}	从输入层单元 i 到中间层单元 j 的结合权值
V_{kj}	从中间层单元 j 到输出层单元 k 的结合权值
Q_j	中间层单元 j 的偏置值
r_k	输出层单元 k 的偏置值

(1)网络状态初始化:用较小的随机数对网络的权值(W_{ji})和(V_{kj})以及偏置值(Q_j)和(r_k)置初值。

(2)输入第一个学习样本模式到输入层。

(3)把学习样本的值作为输入层单元输出 $\{I_i\}$, 用输入层到中间层的权值 $\{W_{ji}\}$ 和中间层单元的偏置 Q_j 求出对中间层单元 V_j 以及相应的输出 H_j 。

本文 1997 年 10 月收到,王 梅编辑。

* 国家教委博士点基金资助课题。

$$V_j = \sum_i W_{ji} \cdot I_i + Q_j \quad (1)$$

$$H_j = f(V_j) \quad (2)$$

式中, f 是 Sigmoid 函数

(4)用中间层的输出 (H_j), 中间层到输出层的连接权值 $\{V_{kj}\}$ 以及输出层单元 k 的偏置值 r_k 求出输出层单元 k 的输入 S_k 以及相应的输出 O_k

$$S_k = \sum_j V_{kj} H_j + r_k \quad (3)$$

$$O_k = f(S_k) \quad (4)$$

(5)根据学习模式的教师信号 T_k 和输出层的输出 O_k 的差求出有关输出层单元 k 的偏值以及连接到其上的权值的误差 δ_k

$$\delta_k = (O_k - T_k) \cdot O_k \cdot (1 - O_k) \quad (5)$$

(6)根据误差 δ_k , 从中间层到输出层的权值 $\{V_{kj}\}$ 以及中间层的输出 H_j , 求出有关中间层单元 j 的偏置值以及连接到其上的权值的误差 δ_j

$$\delta_j = \sum_k \delta_k \cdot V_{kj} \cdot H_j \cdot (1 - H_j) \quad (6)$$

(7)根据(5)求得的 δ_k 及 H_j 和常数 a 对从中间层单元 j 到输出层单元 k 的偏置值 r_k 加以调整。

$$V_{kj} = V_{kj} + a \cdot \delta_k \cdot H_j \quad (7)$$

$$r_k = r_k + B \cdot \delta_k \quad (8)$$

(8)根据误差 δ_j , 输入单元 i 的输出 I_i 以及常数 a 对从输入层单元 j 到输出层单元 i 连接权值 W_{ji} 加以调整, 根据误差 δ_j 和常数 B 对中间层单元 j 的偏置值 Q_j 加以调整。

$$W_{ji} = W_{ji} + a \cdot \delta_j \cdot I_i \quad (9)$$

$$Q_j = Q_j + B \cdot \delta_j \quad (10)$$

(9)输入下一个学习模式;

(10)若有学习模式则返回步骤(3);

(11)更新学习次数;

(12)若学习误差已经小于下限值, 则退出;

(13)若学习误差较大, 且学习次数尚小于规定次数, 则返回步骤(2)。

从上述的步骤中可看出: 步骤(3)至(6)为正向推理, (7)至(8)则为反向推理。采用 C 语言实现 BP 算法主要程序段如下, 其变量和数组说明见表 2。

正向推理的程序设计要点:

```

/* 设置输入层单元的输出 */
for(k=0;k<IN;k++)
ot_in[k] = (double)indata[loop].input[k];
/* 计算中间层单元的输出 */
for(k=0;k<HN;k++)
{
inival=0.0;
for(m=0;m<IN;m++)
{inival += {w_in_hd[k][m] * ot_in[m]};

```

```

inival += cw_hd[k]; /* 对中间层单元 k 的输出 */
ot_hd[k] = signf(inival); /* 中间层单元的输出 */
}
/* 计算输出层单元的输出 */
for(k=0;k<ON;k++)
{

```

```

inival=0.0
for(m=0;m<HN;m++)
{inival += {w_ot_hd[k][m] * ot_hd[m]};}
inival += cw_ot[k]; /* 对输出层单元 k 的输出 */
ot_ot[k] = signf(inival); /* 输出层单元 k 的输出 */
}

```

反向推理的程序设计要点:

```

/* 误差计算 */
for(m=0;m<ON;m++)
{
teach[m] = (double)indate[loop].tch[m];
wk = ot_ot[m];
wkb = teach[m] - w[k]; /* 教师信号和输出的差 */
del_ot[m] = wkb + ru0 * wk * (1.0 - wk);
}

```

```

/* 误差计算 */
for(k=0;k<HN;k++)
{
inival=0.0;
for(m=0;m<ON;m++)
{
inival += (del_ot[m] * w_hd_ot[m][k]);
wk = ot_hd[k];
del_hd[k] = inival * ru0 * wk * (1.0 - wk);
}
del_ot[m] = wkb * ru0 * wk * (1.0 - wk);
}
}

```

表 2 变量和数组说明

意 义	符 号
输入层单元数	IN
中间层单元数	HN
输出层单元数	ON
输入层单元的输出	ot_in[IN]
中间层单元的输出	ot_hd[HN]
输出层单元的输出	ot_ot[ON]
中间层单元的偏置值	cw_hd[HN]
来自输入层的连接权值	w_in_hd[HN][IN]
来自中间层的连接权值	w_hd_ot[ON][HN]
输出层单元的偏置值	cw_ot[ON]
教师信号	teach[ON]
误差	del_ot[ON]
误差	del_hd[HN]
常数 a	alpha
常数 β	beta

3 其它模块的设计方法

3.1 输入样本标准化模块的设计方法

由于输入样本各参数在样本集中取值范围不同, 有的参数的值可能比其它的参数大得多或小得多, 为了使各类参数所起的作用大致相等, 以防止夸大某些因素的作用, 必须对输入数据进行标准化处理, 样本参数标准化的方法如下^[3]:

设共有 G 处训练样本:

$$X_0^{(P)}, X_1^{(P)}, \dots, X_{N-1}^{(P)} \quad (P=1, \dots, G)$$

$$\text{令 } \bar{X}_i = \sum_{P=1}^G X_i^{(P)} / G \quad (i=0, 1, \dots, N-1) \quad (11)$$

$$S_i = \left(\sum_{P=1}^G |X_i^{(P)} - \bar{X}_i| / G \right)^{1/2} \quad (i=0,1,\dots,N-1) \quad (12)$$

X_i 和 S_i 分别为第 i 个参数的平均值和方差。

标准化输入为:

$$X_i^{(P)} \leftarrow (X_i^{(P)} - \bar{X}_i) / S_i \quad (13)$$

$$P = 1, \dots, G; i = 0, \dots, N-1$$

显然,标准化后数据集的平均值为零,而且消除了物理的影响。

3.2 读取数据模块的设计方法

为方便用户使用,系统提供了一个对库文件进行读取的接口,可使用户先在 Foxpro 环境下对数据库文件进行操作,然后读到神经网络系统中去。

3.3 BP 网络训练状态显示模块的实现方法

在 BPFES 界面设计中,主要考虑了网络训练学习时的两个主要参数,即学习次数和最大误差值,训练网络者可根据两参数值对网络的训练及自我学习状态进行交互式操作。由 C 语言设计的“正在学习状态”的屏幕画面如图 2。在满足网络训练误差要求的前提下,用户根据可画面随时控制学习次数。

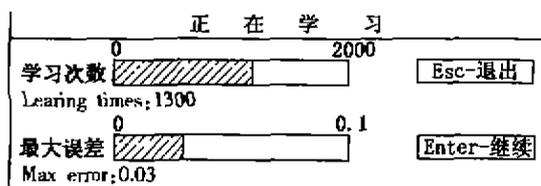


图 2 网络学习状态显示图

为方便用户操作,还用 C 语言设计了若干控制参数(表 3),可在 DOS 环境下运行。

3 网络训练及样本参数的识别

BPFES 设计和调度后,开始对网络进行训练。根据金刚石钻头设计的要求,网络输出误差范围在

0.005 以下,本网络需训练 5000 次达到收敛,当用户按 ESC 键便退出训练,网络训练好之后,用户可输入样本数据,经网络学习和推理得到识别结果,即样本输出参数,一次测试约几微秒时间。

表 3 控制参数说明

控制参数	说 明
-1	网络进入学习状态,其后有一选项项选取输入样本的个数
-c	以随机数对网络进行初始化,若不用此参数,则从文件中输入学习过的网络状态
-g	打印出文件中保存的学习状态
-n	网络不进行学习,从文件输入网络状态,并对它进行验证计算

4 系统评价

(1)BPFES 作为一个专家子系统用于钻头配方设计是可行的,它要求的知识规则相对较少,只需选择一定数量的有代表性的样本数据。

(2)神经网络设计需反复调试与训练,使之最优。本子系统最后的组合为:三层神经网络的中间层为 11 节点,输入层为 7 个节点,输出层为 5 个节点;误差权限 $e = 0.0005$;网络因子 $\alpha = 0.7$;网络参数 $\beta = 0.8$;学习步长初始值 $\eta = 0.1$,学习步长增量 $\delta = 0.1$ 。网络调试中采用了 BP 算法的改进措施,即调整非线性函数 Sigmoid 中指数斜率,加速收敛而不使网络处于迟钝状态,同时,系统的界面友好,使用方便。

(3)现场试用结果,根据 BPFES 设计的配方制造钻头可达到较理想的使用效果。表 4 列出了根据 BPFES 设计配方制成钻头经长沙勘察院在湖南大学边坡支护工程项目中的使用情况,表中同时列出了 SCR 厂钻头在该工程中的使用结果。BPFES 设计的钻头与 SCR 厂的钻头相比,时效提高 89.6%,寿命提高 78.1%。

表 4 钻头使用情况

钻头制造单位	钻头设计条件							神经网络推理配方					使用结果	
	D	d	A	B	P	n	Q	骨架	粘结	品级	粒度	浓度	时效	寿命
中南工大	111	93	9.5	7	1500	415	170	35%	65%	JR4	45/60	22%	1.1	13.0
SCR 厂	111	93	9.5	7	1500	415	170						0.58	7.3

参考文献

- 赵显富,黄之林.多层神经网络的软件工具设计与应用.中南工业大学学报,1996,3(24)
- 庄镇泉,等.神经网络与神经计算机.北京:科学出版社,1992
- 蔡煜东,等.人工神经网络模型及其在含系高温超导制备中的应用.冶金自动化,1996,4(19)

THE BP ALGORITHM - BASED EXPERT DESIGNING SUBSYSTEM FOR BIT PRESCRIPTION

Zhang Shaohu, Zhao Xianfu, Liu Chen, Lu Fan, Zhang Taishan

The bit prescription subsystem including multiple perceptron mathematics model and BP algorithm, expert designing subsystem and exercise of network of bit prescription parameter samples is emphasized on. The typical data of bit prescription designing are given. It is convinced that the bit prescription expert subsystem is applicable to bit prescription designing and has artificial intelligence.

Key words artificial neuron network, BP algorithm, bit

(下转第 65 页)

工艺合成金刚石以 Ni、Mn、Co 和石墨为主,粉末工艺合成金刚石所含杂质则以 Fe、Ni 及石墨为主。

2、光谱分析表明:粉末触媒合成金刚石杂质含量成数量级差别低于片状触媒合成金刚石。

3、热稳定性实验表明:不同工艺金刚石热稳定性在 900℃ 以下时要好,随着温度升高,粉末触媒工艺合成金刚石表现出更好的热稳定性,1100℃ 时,片状工艺金刚石石墨化明显。

4、缺陷及杂质成分、含量、存在形式是影响金刚

石强度、热稳定性的重要原因。

参考文献

- 1 B. Henderson, 著,范印哲,译.晶体缺陷.北京:高教出版社,1983
- 2 李树棠.晶体 X 射线衍射学基础.北京:冶金工业出版社,1990,1
- 3 有色总公司,中南工大.近代理化仪器及测试技术.中南工业大学出版社,1991
- 4 谢有赞.金刚石理论与合成技术.长沙:湖南科技出版社,1993
- 5 张书达.人造金刚石中的杂质和包体.硅酸盐学报.1985(13),1
- 6 丁实业,等.金属包裹体的变化及对人造金刚石强度的影响.高压物理学报. V01. 4 N9. 21990. 6
- 7 孙士垣.金属材料.北京:中国铁道出版社,1988

STUDY ON THERMAL STABILITY OF SYNTHETIC DIAMOND

Xiong Xiangjun, Chen Qiwu, Pen Zhenbin, Zhen Rishen

Synthetic diamond has been studied systematically by techniques such as heat treatment, acid treatment, X-ray diffraction, emission spectrum analysis and XTL-II microscope in this paper. The experimental result shows: diamond synthesized by powder catalyst and graphite is of little impurity, high strength and good thermal stability. And it is proposed that the important factors controlling its properties are defects, impurity and its quality and reserving forms. The thermal stability descends rapidly with temperature due to much impurity, especially as temperature is at 1100℃.

Key words diamond, powder catalyst, thermal stability



第一作者简介:

熊湘君 男,1966年生。现在中南工业大学资源环境与建筑工程学院攻读博士研究生。
通讯地址:湖南省长沙市 中南工业大学 邮政编码:430083

(上接第56页)



第一作者简介:

张绍和 男,1967年生。中南工业大学资源环境与建筑工程学院讲师,博士研究生。
通讯地址:湖南省长沙市 中南工业大学资源环境与建筑工程学院 邮政编码:410083

(上接第59页)

puter algorithm in detail based on the distribution features of active and passive earth pressures in multilayered soils. Using a software developed by the authors, a failed support system of a deep excavation is checked, and all necessary figures like formation columns, earth pressures, shear forces and bending moment are plotted. The study indicates that the failure resulted from wrong computation.

Key words deep excavation, support system, computer algorithm



第一作者简介:

姚爱国 男,1953年生。1982年毕业于中国地质大学钻探专业,后获硕士学位。1996年作为访问学者在英国进修土木工程一年。现任中国地质大学勘探学院副教授,主要从事钻探与土木工程学科的教学与科研工作。

通讯地址:湖北省武汉市 中国地质大学工程学院 邮政编码:430074