

Matlab 自组织神经网络在遥感图像分类中的应用¹⁾

杜华强

(北京林业大学, 北京, 100083)

范文义

(东北林业大学)

摘要 以 Matlab 平台为基础, 利用神经网络工具箱构建了自组织神经网络, 对一幅 TM432 假彩色遥感图像通过 300 次训练后, 仿真输出能真实地反映原始图像的特征。其分类总精度为 87.14%, Kappa 系数为 0.85, 分类精度能够满足遥感图像分类的需要。

关键词 Matlab; 自组织神经网络; 分类; 精度; Kappa 系数
分类号 TP389.1; S771.8

The Application of Self-organizing Neural Network to Remote Sensing Image Classification Based on Matlab/Du Huaqiang (Beijing Forestry University, Beijing 100083, P. R. China); Fan Wenyi (Northeast Forestry University) // Journal of Northeast Forestry University. - 2003, 31(4). - 51 ~ 53

A self-organization artificial neural net was created based on the neural net tools box of Matlab in this study. Applied this net, a LandSat TM432 false color composition image was trained 300 times and got a satisfactory result when simulated it. The total precision of classification is 87.14% and Kappa coefficient is 0.85. The precision of classification can meet the demand of remote sensing image classification.

Key words Matlab; Self-organization artificial neural net; Classification; Precision; Kappa coefficient

遥感图像分类是遥感技术应用研究中不可避免的问题之一。随着遥感技术的纵深发展, 遥感数据的时间、空间和光谱分辨率不断提高, 传统的分类方法(如最大似然法、K-均值法等)已经不能满足分类精度的要求。因此应采用新的分类方法来提高遥感图像分类精度。

近年来神经网络被广泛应用于遥感图像分类。不同学者分别提出或应用 BP 网^[1]、三维 Hopfield 网^[2]、径向基函数神经网络^[3]和小波神经网络^[4]等对遥感图像进行监督分类, 研究表明, 分类精度在很大程度上得到了提高。然而, 它们的分类精度同样依赖于网络训练样本(教师信号或目标输出)的选取, 除了在算法上改进外, 都在一定程度上限制了神经网络的发展, 同时像 BP 网等存在网络训练速度慢、不易收敛到最优等缺点。自组织神经网络是一种不需要教师信号的网络, 它通过对输入信号的竞争学习而将其划归为不同的类别。笔者将利用 Matlab 平台构建自组织神经网络来分类遥感图像, 希望在没有教师信号的同时同样能达到提高分类精度的目的。

Matlab(Matrix Laboratory)是美国 MathWork 公司于 1982 年推出的一套高性能的数值计算和可视化软件, 它集数值分析、矩阵运算、信号图像处理 and 图像图形显示于一体, 其结构化语言和大量面向专业领域的工具箱, 使不同领域的研究者从烦琐的编程中解放出来, 极大地方便了问题的研究。Matlab 神经网络工具箱包含大多数神经网络如感知器、BP 网、自组织网络、反馈网络等, 以及这些网络的学习规则、训练、仿真等。

1 自组织神经网络及学习算法概述

Kohonen 根据人脑的特点提出了自组织映射理论^[5], 他认为神经网络中邻近的各个神经元通过彼此侧向交互作用,

自适应发展成检测不同信号的特殊检测器。

遥感图像分类分为监督分类和非监督分类两种。非监督分类是在没有先验知识的情况下, 根据影响本身的统计特征及自然点群的分布情况来划分地类的分类处理^[6]。自组织神经网络本质上是一种无监督分类。图 1 是一个自组织神经网络的基本模型, 它是基于自组织学习算法, 对于输入样本, 在没有理想输出的情况下, 通过竞争学习、竞争获胜的神经元就代表输入样本的分类模式^[5]。

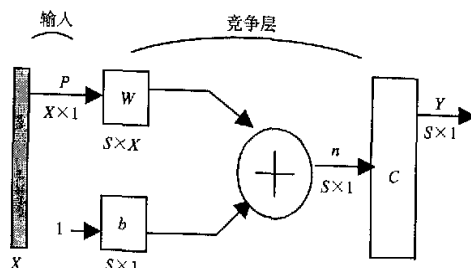


图 1 自组织神经网络模型

自组织学习算法属于无监督学习算法。对于一个分类问题, 当一些随机样本输入到自组织网络中, 如果样本足够大, 那么在权系数的分布上可以近似于输入样本的概率密度分布, 在输出神经元上也反映了这种分布, 即概率大的样本集中在输出空间的某一个区域。如果输入样本有几个不同的类型, 那么他们各自会根据它们的概率分布分别集中到输出空间的各个不同区域内, 在同一个区域内代表同一类样本^[5]。

2 Matlab 自组织神经网络及其在遥感图像分类中的应用

2.1 数据预处理

对于一景遥感图像在三波段合成的基础上对其做辐射、光谱增强及随机噪声去除等处理, 使图像更加清晰, 能够更好

1) 国家自然科学基金项目(30070604)。

第一作者简介: 杜华强, 男, 1975 年月生, 北京林业大学在读博士研究生。

收稿日期: 2002 年 12 月 20 日。

责任编辑: 张建华。

地区分不同的地物类别。Matlab 图像处理和工具箱可以完成上述图像处理(如文献 8),另外一些专业软件如 Erdas、Pci、Envi 等也都包含了强大的图像处理功能。

2.2 Matlab 自组织神经网络的构建

图 1 是一个自组织神经网络的基本模型^[3]。其中 X 表示输入样本, S 为竞争层神经元, W 为权值, b 表示竞争层的阈值, C 代表竞争获胜的神经元, Y 为输出模式。

2.2.1 建立 Matlab 自组织神经网络

利用 `newsom` 函数可以很方便地创建一个自组织神经网络。如:

```
mysonet = newsom([min,max],[m]);
```

设 $X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$ 为输入样本, 上式 \min 表示 X 的最小值, \max 表示 X 的最大值, m 表示竞争过程中获胜的神经元数(本文取 $m=7$)。

对于经过处理的图像 `myimage` 用 `load` 或 `imread` 函数读入后, 在输入到自组织神经网络前先将其变为 1 维向量形式, 如图 2 所示。

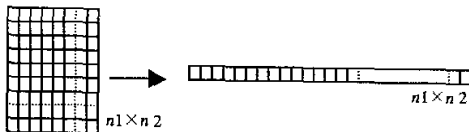


图2 图像矩阵变为 1 维向量

图 2 所示变换的 matlab 程序为:

```
dmyimage = im2double(myimage); % 将图像变为双精度格式, 其灰度值归一到 0,1 之间
```

```
X = [];
```

```
for i = 1:n1 % n1 表示原始图像的行数, i 为循环变量。
```

```
X = [X, dmyimage(i, :)];
```

```
end
```

2.2.2 网络训练

网络训练就是竞争层竞争学习的过程。竞争的过程就是通过不断调整在竞争中某一获胜节点(神经元)的权值 W , 使其在后面的竞争中获胜的可能性逐渐增大的过程。当权值 W 达到某一规定值后, 网络训练结束。具体地说, 对于输入模式 $X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$, 其中任一模式 $x_i (i=1, 2, \dots, n)$ 都属于按某种标准设定的 m 类模式之一, 假定为 $Y = [y_1, y_2, y_3, \dots, y_m] (m \leq n)$ 。设网络中共有 m 个输出节点(神经元), 则每一个输出节点代表某一类模式, 而与该节点连接的权向量则包含了本类模式的基本信息。对于样本 x_k , 若节点 N_j 竞争获胜, 那么就应该调整其权值, 使网络以后再遇到 x_k 或与 x_k 接近的模式时, 节点 N_j 竞争获胜的可能性更大^[5]。这一过程可以通过下面的 matlab 程序完成。

```
mysonet.trainParam.epochs = 300; % 设定网络训练的次数;
```

```
net = train(mysonet, X); % 网络训练, 也即不断调整权值的过程;
```

```
plotsom(net.iw{1,1}, net.layers{1}.distances); % 绘出自组织神经网络的权值图。
```

2.2.3 网络仿真与输出

竞争获胜的神经元代表输入模式 X 的输出(分类)模式 Y , 下面的 matlab 程序可以完成网络的仿真与输出。

```
a = sim(net, X); % 仿真
```

```
we = net.iw{1,1}; % 权值向量
```

```
cc = we' * a;
```

```
cc = cc * 255;
```

% 将仿真后的 1 维向量还原成 2 维矩阵; $n1$ 表示原始图像的行数, $n2$ 表示列数。

```
classimage = [];
```

```
for i = 0:n1-1
```

```
classimage = [classimage; cc((i * n2 + 1):(i * n2) + n2)];
```

```
end
```

```
imshow(classimage, map);
```

```
title('神经网络分类结果图');
```

3 结果与分析

研究数据采用 2000 年 6 月 3 日内蒙古奈曼旗 ETM+7 遥感数据。图像经预处理后, 从中截取 223×173 大小的子图像并按 432 波段组合, 合成 TM432 假彩色遥感图像(如图 3)。



图3 待分类图像

研究数据处于沙漠化地区。根据沙漠化地区植被类型简单、地表结构复杂的特点, 在实际调查和对图像目视解译的基础上, 将图 3 分为林地、沙地、水体、裸地等 7 类。

将图 3 输入到神经网络中, 训练仿真输出结果如图 4。图 5 是原始图像 7 个获胜神经元权值分布情况, 可见各神经元所代表的输出模式之间的可分性很好。

通过目视分析, 图 4 能够反映不同地物的真实情况。但部分林缘土壤被误分为水体, 这主要由水体在可见光部分光谱变化复杂, 近红外部分光谱值比较低、网络竞争和自组织叠代过程中其与水体光谱相似所造成的; 另外, 植被与林地间土壤之间, 由于阴影的影响, 也出现了一定程度上的误分。

Kappa 系数是评价分类精度的多元统计方法, 它代表被评价分类与完全随机分类产生错误减少的比例, 对 Kappa 的估计称为 KHAT 统计。基于此, 从图 3 中对 7 类地物的每一类地物均匀地选取 50 个样本点(像元), 并用 `impxel` 函数读取各像元值, 然后根据图 5 权值分布利用 `simuc` 函数仿真计

算各地类样本所属类别,统计结果如表 1。

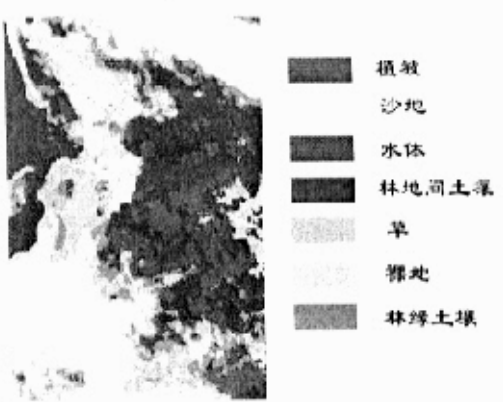


图 4 自组织神经网络分类结果

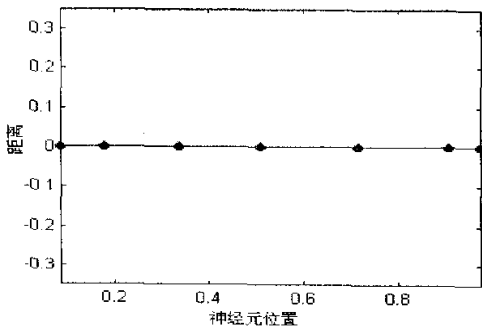


图 5 获胜神经元权值分布

将表 1 中间数据部分看作矩阵 A ,以计算分类的总精度和 $Kappa$ 系数:

总精度 = $\sum a_{ii} / N = 87.14\%$

$K = (N \times \sum a_{ii} - \sum (T_{.j} \times T_{i.})) / (N^2 - \sum (T_{.j} \times T_{i.})) = 0.85$ 。

其中 a_{ii} 表示 A 的对角元素, N 为各类样本总数, $T_{.j}$ 、 $T_{i.}$ 分别表示 A 的第 i 行与第 j 列之和。

计算得到总精度为 87.14%, $Kappa$ 系数为 0.85。可见自组织神经网络在分类精度上能够满足遥感图像分类的需

要。

表 1 分类误差统计

分类	植被	沙地	水体	林地间土壤	草	裸地	林缘土壤	合计
植被	38			12				50
沙地		48				2		50
水体			46	3			1	50
林地间土壤	8			42				50
草	2				46		2	50
裸地						45	5	50
林缘土壤			10				40	50
合计	48	48	56	57	46	47	48	350

4 结束语

Matlab 自组织神经网络简单实用,网络仿真输出效果好,能够克服 BP 网等神经网络训练速度慢、网络不易收敛到最优等缺点。笔者对一幅 TM432 合成的假彩色遥感图像,经过 300 次训练(所用时间将近 1 min),仿真输出后,计算得到分类总精度为 87.14%, $Kappa$ 系数为 0.85,表明分类精度能够满足遥感图像分类的需要。当然,一些地物间在一定程度上出现了误分,这主要由影响灰度差异在网络竞争概率统计上表现出的相似性所造成的,为此,应在影像输入到网络之前对其做辐射校正、阴影、噪声去除等处理,以增强各地物之间的可分性,达到提高分类精度的目的。

参 考 文 献

1 李祚泳. 用 B-P 神经网络实现多波段遥感图像的监督分类. 红外与毫米学报, 1998, 17(2): 153 ~ 156

2 李强, 王正志. 基于人工神经网络和经验知识的遥感信息分类综合方法. 自动化学报, 2000, 26(2): 233 ~ 238

3 骆剑承, 周成虎, 杨艳. 基于径向基函数(RBF)映射理论的遥感影像分类模型研究. 中国图像图形学报, 2000, 5(2): 94 ~ 99

4 王耀南. 小波神经网络的遥感图像分类. 中国图像图形学报, 1999, 4(5): 368 ~ 371

5 袁曾任. 人工神经网络及其应用. 北京: 清华大学出版社, 2000

6 周成虎, 骆剑承, 杨晓梅, 等. 遥感影像地学理解与分析. 北京: 科学出版社, 2001

7 楼顺天, 施阳. 基于 Matlab 的系统分析—神经网络. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999

8 潘峰, 刘文予, 朱光喜. Matlab 在图像处理与应用中的研究. 计算机应用研究, 1999(12): 73 ~ 75

9 楼顺天, 陈生潭. Matlab5. X 程序设计语言. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000

作者: [杜华强](#), [范文义](#)
作者单位: [杜华强\(北京林业大学, 北京, 100083\)](#), [范文义\(东北林业大学\)](#)
刊名: [东北林业大学学报](#) **ISTIC PKU**
英文刊名: [JOURNAL OF NORTHEAST FORESTRY UNIVERSITY](#)
年, 卷(期): 2003, 31(4)
引用次数: 15次

参考文献(9条)

1. 李祚泳 [用B—P神经网络实现多波段遥感图像的监督分类](#) 1998(2)
2. 李强, 王正志 [基于人工神经网络和经验知识的遥感信息分类综合方法](#)[期刊论文]-[自动化学报](#) 2000(2)
3. 骆剑承, 周成虎, 杨艳 [基于径向基函数\(RBF\)映射理论的遥感影像分类模型研究](#)[期刊论文]-[中国图象图形学报](#) 2000(2)
4. 王耀南 [小波神经网络的遥感图像分类](#) 1999(5)
5. 袁曾任 [人工神经网络及其应用](#) 2000
6. 周成虎, 骆剑承, 杨晓梅 [遥感影像地学理解与分析](#) 2001
7. 楼顺天, 施阳 [基于Matlab的系统分析—神经网络](#) 1999
8. 潘峰, 刘文予, 朱光喜 [MATLAB在图象处理与研究中的应用](#)[期刊论文]-[计算机应用研究](#) 1999(12)
9. 楼顺天, 陈生潭 [Matalb5.X程序设计语言](#) 2000

相似文献(10条)

1. 期刊论文 [郭志强](#), [蔡嵩](#), GUO Zhi-qiang, CAI Song [彩色遥感图像分类算法及Matlab实现](#) -[武汉理工大学学报](#) 2006, 28(1)

采用自组织神经网络对遥感图像进行分类, 以获得更好的分类效果, 采用Matlab这一平台来构造自组织神经网络, 解决了网络运算量大的问题, 取得了良好的效果. 实验表明, 自组织神经网络对遥感图像的分类是有效的.

2. 期刊论文 [王金亮](#), [李石华](#), [陈姚](#), WANG Jin-liang, LI Shi-hua, CHEN Yao [基于自组织神经网络的遥感图像分类应用研究—遥感信息](#) 2006(3)

在地形复杂地区, 采用传统的遥感分类方法进行土地利用遥感分类很难获得理想的精度. 针对遥感图像分类的特点, 根据自组织竞争神经网络的生物学基础、基本结构和学习算法, 利用Matlab平台构建自组织神经网络, 对地形复杂区的ETM+遥感图像通过500次训练使网络收敛后, 仿真输出分类图. 结果表明, 基于自组织神经网络的分类器经过训练后, 可用于遥感图像的分类, 其分类精度明显高于传统的最大似然法.

3. 学位论文 [沈雷](#) [自组织神经网络在化工设备故障诊断中的应用](#) 2006

现代制造业设备具有规模大、复杂性高、变量多, 并在闭环控制下运行的特点. 这些设备不仅造价昂贵, 而且运行过程表现出强烈的非线性特征. 无论是基于设备管理还是基于生产管理的考虑, 都需要对设备的运行状态有全面的了解, 这也是进行故障诊断的基础. 由于反映设备状态的信息数量巨大, 设备结构十分复杂, 因此传统的故障诊断方法显得力不从心, 已经不能很好的适应现代生产的要求. 自组织人工神经网络, 也称自组织神经网络, 不仅具有良好的分类和聚类能力, 而且具有自学习、自更新记忆的特点, 已被广泛的应用到大量本量数据的聚类和分类之中. 本文利用自组织神经网络的分类和聚类能力, 将研究对象的运行状态分类为正常状态、故障状态、过渡状态、未识别状态四种大类别, 并进一步将四大类别详细划分, 形成更加丰富的分类. 这个过程实际是利用自组织神经网络将高维数据内在的相似性反映在一个二维平面上. 在此原理的基础上, 利用时间窗口法, 将采集的设备实时状态信息输入, 即可在二维平面上得到连续的设备当前运行状态的情况, 形成一条设备状态运行轨迹. 通过这条轨迹, 不仅可以进行设备故障诊断, 而且还可以进行设备状态监测. 本文主要结果与结论如下: (1) 研究故障诊断领域进展综述, 提出本文研究的问题. 列举了设备故障诊断的起因, 以及目前国内外的研究状况. 针对当前大型化工设备普遍情况以及传统方法的不足, 探讨使用自组织神经网络来实现大型化工设备的实时在线故障诊断及诊断可视化的可行性, 并指出了论文的意义. (2) 化工设备实时在线故障诊断模型的建立和研究. 主要探讨如何以自组织神经网络为核心, 针对“田纳西-伊斯曼系统”, 建立一套完整的设备实时在线故障诊断模型SO-FDD. (3) 系统设计. 主要讨论如何设计系统流程模型, 并利用MATLAB以及c语言这两个开发工具将上述模型进行代码实现. (4) 实验分析. 将通过“田纳西-伊斯曼系统”得到的仿真数据, 输入故障诊断系统SO-FDD, 来验证本文提出的方案, 最后对结果做出了相关的分析. (5) 总结全文工作, 指出论文的创新之处. 本文通过利用构建的故障诊断系统, 成功的对田纳西-伊斯曼系统进行了故障诊断. 对于21种故障, 其诊断的总体性能明显优于对照的诊断方法. 本文对化工设备实时在线故障诊断及可视化提出了新的实现方法, 建立了基于自组织神经网络的化工设备故障诊断及可视化模型, 具有一定的实际和创新意义.

4. 期刊论文 [吐热尼古丽·阿木提](#), [张晓帆](#), Turangul Hamut, ZHANG Xiaofan [自组织神经网络的土地覆盖图像识别分析应用](#) -[地球信息科学](#) 2007, 9(3)

土地利用/土地覆盖数据的识别, 采用传统的方法进行类型识别运算量大, 精度也不太理想. 本文重点讨论采用自组织神经网络方法, 并在MATLAB平台下对其算法进行了实现. 最后将分类识别结果与最大似然法分类结果进行了精度比较分析. 结果表明, 其分类精度明显高于最大似然法的分类精度, 是一种土地覆盖图像识别分类的有效方法.

5. 期刊论文 [王家华](#), [李志勇](#), [周冠武](#), WANG Jia-hua, LI Zhi-yong, ZHOU Guan-wu [基于Matlab的自组织神经网络在油气层识别中的应用研究](#) -[电脑知识与技术\(学术交流\)](#) 2006(12)

介绍了自组织竞争网络和自组织影射网络的原理,对自组织竞争网络和自组织影射网络的优缺点进行了比较.采用大庆的油气层数据建立网络模型,对网络结构的参数进行了优化并对输入样本进行了聚类分析.数据分析表明自组织竞争网络和自组织影射网络都有较好的聚类结果,自组织竞争网络较自组织影射网络方法识别出的结果更客观可靠,是油气层识别的一种有效方法.

6. 期刊论文 [许可, 陈书宏, 尚文利, XU Ke, CHEN Shu-hong, SHANG Wen-li 基于LabVIEW的自组织网络的实现与应用 - 微计算机信息](#)2009, 25 (13)

文章介绍了自组织神经网络在故障诊断方面的应用原理,针对自组织神经网络实现问题提出了一种通过在LabVIEW调用MATLAB应用程序实现自组织神经网络的方法,并通过轴承故障诊断的实例,证明了这种方法的有效性.

7. 期刊论文 [贺金戈, 胡桂明, 黄海英, HE Jin-ge, HU Gui-ming, HUANG Hai-ying 一种基于自组织神经网络的语音识别系统 - 电声技术](#)2006 (7)

建立了一种基于自组织神经网络的语音识别系统.对语音信号进行了预处理,提取了语音信号的线性预测系数、线性预测倒谱系数和Mel倒谱特征系数,建立了基于自组织神经网络的识别判决模型.深入分析和改进了自组织神经网络的分类聚类能力,通过加强训练和设定阈值函数的方法,有效地确定了边界神经元的归属,划分出了合理的输出模式类.验证了自组织神经网络适合于处理孤立词语音识别,并具有快速性和结构简单等特征. MATLAB仿真实验表明,语音识别率达到96%.

8. 学位论文 [王洁桦 基于SOM神经网络的工业设备运行状态监测研究](#) 2009

随着社会的发展,现代工业生产中日益引入更多的大型工业设备,使得工业生产技术和工艺日益复杂化.这些大型工业设备有整体规模大、复杂度高、监测变量多,运行状态非线性等一些共同的特点,而且其运行的安全性也变得越来越重要.一旦设备在运行过程中出现了故障,将不仅会给企业带来巨大的损失,还为社会带来极其严重的后果.因此,对这些关键工业设备进行监测和故障诊断越来越受到国内外大企业的重视,也使得设备运行状态监测和故障诊断有了更广阔的研究发展空间.然而,由于工业设备的结构复杂,且反映设备状态的信息数量巨大,因此传统的状态监测方法显得力不从心,不能很好地适应现代化工业生产的要求.近年来,基于自组织人工神经网络的设备运行状态监测和故障诊断技术日益受到国内外企业和科研组织的重视.其中由于自组织映射(Self-Organizing Map, SOM)神经网络不仅具有良好的分类和聚类能力,而且具有自学习、自更新记忆的特点,因此在设备运行状态监测和故障诊断方面相对于传统方法,具有明显的优势.

为了更好地研究SOM神经网络在工业设备运行状态监测方面的应用可行性,本文采用田纳西-伊斯曼过程(Tennessee-Eastman Process, TEP, 是由美国伊斯曼化学公司的过程控制小组提出的,其目的是为评价过程控制和监控方法提供一个现实的工业过程)作为研究对象,并利用SOM的分类和聚类能力,首先将研究对象的运行状态分类为正常状态和故障状态两种,其中故障状态分为已知和未知两种.然后将运行状态曲线轨迹和分类结果显示在一个二维的平面上,这个过程实际是利用了自组织神经网络的聚类 and 降维能力.由于二维平面图形非常直观,便于理解,因此这也为工业设备故障运行监测和诊断的可视化提供了一种可能的途径.最后,本文使用MATLAB R2007工具对本文的理论研究进行了软件系统实现,并对测试数据进行了验证,结果表明,该方法对田纳西-伊斯曼过程的运行状态监测是有效的.由于该过程是基于一个真实工业过程的仿真,因此对其测试数据及系统结构进行研究对在工业设备进行运行状态监测有很好的研究价值,对SOM应用于其他大型在线工业设备的运行状态监测具有一定的意义. 关键词: SOM神经网络; 工业设备; 运行状态监测

9. 期刊论文 [边坡影响因素的自组织神经网络归类处理 - 企业技术开发](#)2005, 24 (11)

文章根据自组织神经网络的基本原理,结合55个边坡实例,应用matlab进行编程,建立了边坡影响因素分类处理的神经网络模型,并运用该模型对不同的边坡进行了分类,分类结果提高了神经网络的边坡指数数据的学习效率,从而证明了自组织神经网络对提高用于预测边坡稳定性神经网络性能的有效性.

10. 期刊论文 [曹鹏, 郑雪燕, 徐伟 基于自组织神经网络的数字语音识别 - 电声技术](#)2002 (4)

提出一种基于自组织神经网络的数字语音识别模型.首先用基于小波变换和线性预测的特征提取方法提取语音信号特征,用自组织神经网络进行识别判决.这种语音识别方法适合于小词汇量的孤立词识别,网络结构简单,所需训练数据十分的少,实时性能好.用MATLAB进行仿真实验,识别率达到98%.

引证文献(15条)

1. [郭洛丹, 孔金生 MRBF神经网络在图像分类中的应用](#) [期刊论文] - [计算机工程与设计](#) 2009 (13)

2. [章明清, 陈防, 吴启堂, 林琼, 李娟, 陈子聪, 颜明娟 土-根系统养分运移对流-弥散方程数值解的MATLAB实现](#) [期刊论文] - [福建农业学报](#) 2009 (2)

3. [孙秀邦, 范伟, 严平, 黄勇, 马友华 遥感影像土地覆被分类研究进展](#) [期刊论文] - [中国农学通报](#) 2007 (09)

4. [屈晓晖, 庄大方, 彭望碌, 乔玉良 基于ANN分类的农田遥感动态监测模型研究](#) [期刊论文] - [自然资源学报](#) 2007 (02)

5. [周峰, 李杏梅, 刘福江, 孙华山 基于主成分分析的自组织竞争神经网络在多光谱遥感影像分类中的应用](#) [期刊论文] - [光学与光电技术](#) 2007 (03)

6. [韩玲, 王翠平, 王润平 一种建立在CPN基础上的分类方法在遥感影像分类中的应用研究](#) [期刊论文] - [测绘科学](#) 2007 (03)

7. [李春华, 沙晋明 Matlab自组织竞争神经网络遥感图像分类——以福州市琅岐岛土地覆盖/土地利用类型为例](#) [期刊论文] - [遥感技术与应用](#) 2006 (06)

8. [何涛, 万鹏, 谢卫容 基于CCA和SOFM的轴承故障特征提取](#) [期刊论文] - [三峡大学学报 \(自然科学版\)](#) 2006 (03)

9. [郭志强, 蔡嵩 彩色遥感图像分类算法及Matlab实现](#) [期刊论文] - [武汉理工大学学报](#) 2006 (01)

10. [王立海, 赵正勇 基于BP神经网络的针阔混交林TM遥感图像自动分类技术研究](#) [期刊论文] - [林业科学](#) 2005 (06)

11. [基于Matlab遥感数据分形及地统计分析软件实现](#) [期刊论文] - [北京林业大学学报](#) 2005 (05)

12. [杜华强 森林排列空间结构分形地统计描述及其与热场之间的关系研究](#) [学位论文] 博士 2005

13. [李政 综放工作面自动化控制系统的研究](#) [学位论文] 博士 2005

14. [丁丽霞](#) [浙江省海涂土壤资源利用动态监测及其系统的设计与建立](#)[学位论文]博士 2005
15. [周廷刚](#), [苏迎春](#) [基于人工神经网络的城市航空遥感图像植被分类研究](#)[期刊论文]-[西南师范大学学报\(自然科学版\)](#) 2004(06)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_dblydxxb200304019.aspx

下载时间: 2010年4月22日