

# 基于遗传算法和模糊神经网络的故障诊断方法研究

测仪 081(10082974) 徐杰

**摘要：**随着生产过程的日趋复杂，设备的故障诊断也变得越来随着神经解剖学、神经生理学以及神经元的电生理过程等的研究取得突破性进展，人们对人脑的结构、组成及最基本工作单元有了越来越充分的认识，在此基本认识的基础上，综合数学、物理学以及信息处理等学科的方法对人脑越重要。

**关键词：**模糊控制，遗传算法，神经网络，TE 过程，故障诊断

## 1 研究背景

随着科学技术进步和工业生产水平的提高，工业生产设备不断向大型化、系统化和自动化方向发展，生产设备相互间的关联程度越来越密切。

.....

## 2 文献综述

基于神经网络控制系统的故障诊断分为两部分，一是故障样本数据及检验数据的采集；二是故障诊断<sup>[1]</sup>。随着神经解剖学、神经生理学以及神经元的电生理过程等的研究取得突破性进展，人们对人脑的结构、组成及最基本工作单元有了越来越充分的认识，在此基本认识的基础上，综合数学、物理学以及信息处理等学科的方法对人脑生理学以及神经元的电生理过程等的研究取得突破性进展，人们对人脑的结构、组成及最基本工作单元有了越来越充分的认识，在此基本认识的基础上，综合数学、物理学以及信息处理等学科的方法对人脑。 .....

### 2.1 主元分析法

#### 2.1.1 主元分析方法介绍

主元分析法(PCA)是基于多元随着神经解剖学、神经生理学以及神经元的电生理过程等的研究取得突破性进展，人们对人脑的结构、组成及最基本工作单元有了越来越充分的认识，在此基本认识的基础上，综合数学、物理学以及信息处理等学科的方法对人脑统计的分析方法<sup>[2]</sup>，将其转综合数学、物理学以及信息处理等学科的方法对化为相互独立的低维变量空间，实现对复杂过程数据的特征抽取，并建立相应过程的主元模型<sup>[3]</sup>。

主元分析主要公式如式 2-1。

$$\max_{v \neq 0} \frac{v^T X^T X v}{v^T v} \quad (2-1)$$

其中  $v$  是  $m$  维列向量。该稳态点可以通过下式的奇异值分解来计算，如式 2-2。

$$\frac{1}{\sqrt{n-1}} X = U \Sigma P^T \quad (2-2)$$

负荷向量是矩阵  $P$  中的正交的列向量，样本矩阵  $X$  沿矩阵  $P$  第  $i$  列的投影的方差等于  $\sigma_i^2$ 。求解该奇异值分解问题可以等价于样本协方差矩阵  $R$  的特征值分解，如式 2-3。

$$R = \frac{1}{n-1} X^T X = P \Lambda P^T \quad (2-3)$$

主元分析的结构图如图 2-1 所示：

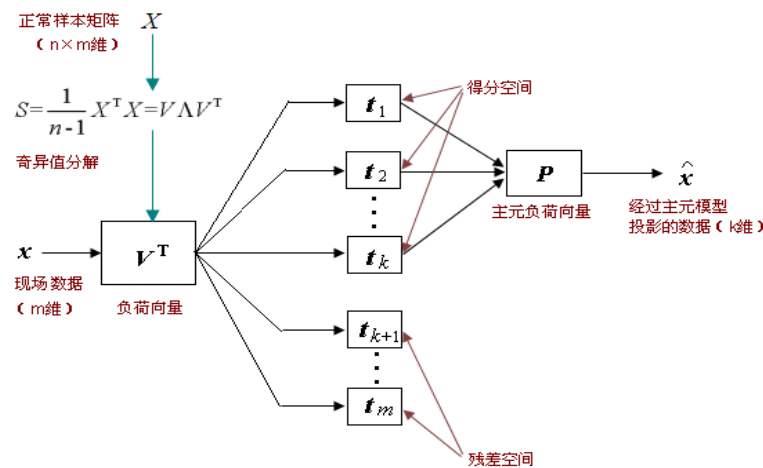


图 2-1 主元分析结构

### 2.1.2 主元分析方法中存在的不足

一般情况<sup>[4]</sup>下，传统主元分析<sup>[5]</sup> (Principal Component Analysis, PCA)方法存在着的不足之处就是：它首先算出随机矩阵的协方差，并用这些协方差数据组成一个协方差阵，接着计算出这个协方差阵的特征值，然后再依据这些特征值的大小依次排序，选择达到主元贡献率的前几个主元变量，作为该模型的主元。

## 2.2 神经网络

### 2.2.1 神经网络的概述

自 20 世纪 40 年代，随着神经解剖学、神经生理学以及神经元的电生理过程等的研究取得突破性进展，人们对人脑的结构、组成及最基本工作单元有了越来越充分的认识，

在此基本认识的基础上，综合数学、物理学以及信息处理等学科的方法对人脑神经网络进行抽象，并建立简化的模型，称为人工神经网络 ANN(Artificial Neural Network)<sup>[6]</sup>。

BP 网络模型结构如图 2-1 所示。

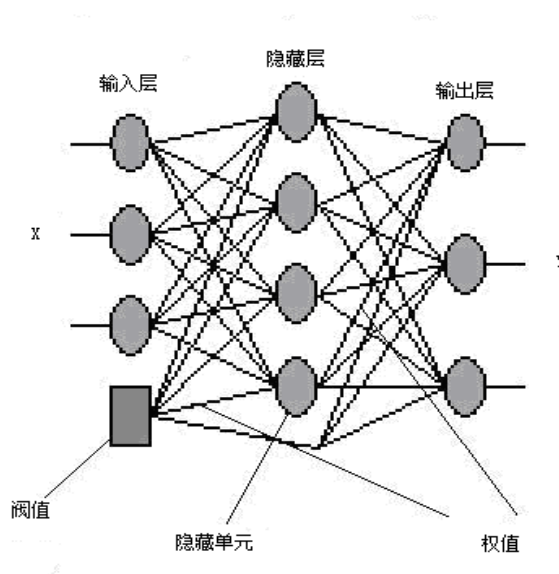


图2-2 BP神经网络结构

### 2.2.2 神经网络的分类

由于神经网络适合解决实际问题，所以其应用领域在不断的扩大，它不仅可以广泛应用于工程、科学和数学领域<sup>[7]</sup>，也可以广泛应用于医学、商业、金融和文学等领域。神经网络在许多领域的广泛应用<sup>[8]</sup>，使其极具吸引力。同时，基于高速的计算机和快速算法，也可以用神经网络解决过去许多计算量很大的复杂工业问题<sup>[9]</sup>。

RBF神经网络结构如下图所示：

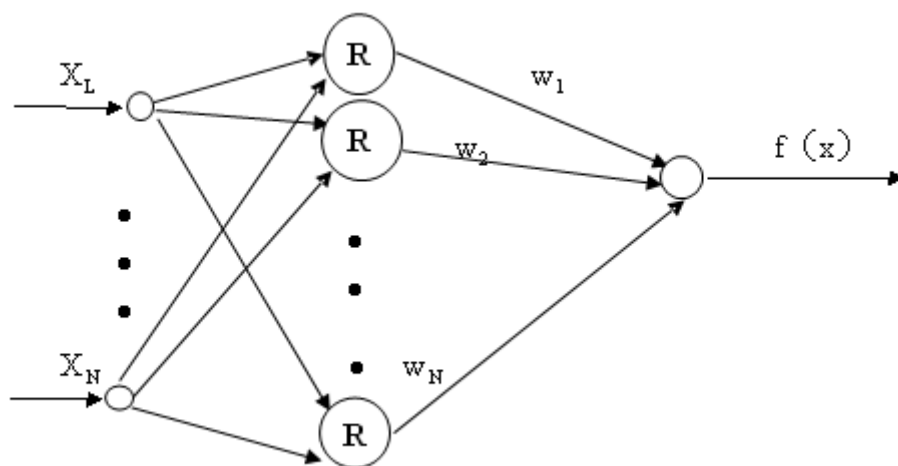


图2-3 RBF神经网络结构图

### 2.2.3 神经网络的发展趋势

人工神经网络是对人脑信息处理方式的模拟，但是目前的对人脑处理信息方式中一些实质性问题还没有取得突破性进展。

### 2.2.4 神经网络在故障诊断中的应用

人工神经网络在故障诊断中的应用主要集中于三方面：故障状态的模式识别<sup>[9]</sup>、故障特征的提取以及故障诊断专家系统<sup>[10]</sup>。

## 2.3 遗传算法

### 2.3.1 遗传算法的介绍

20 世纪 40 年代以来，学者注意到生物在自然演化过程中表现出强大的适应能力，生物不断复制优势遗传基因，改善群体的适应性，得到具有很强适应性的优良物种。

### 2.3.2 遗传算法的使用

（1）根据具体问题确定待寻优的参数。

（2）对每一个参数确定它的变化范围，并用一个二进制数来表示。

这时参数范围的确定应覆盖全部的寻优空间，字长的确定应在满足精度要求的情况下，尽量取小的，以减少遗传算法计算的复杂性。

（3）将所有表示参数的二进制数串接起来组成一个长的二进制串。该字串的每一位只有 1 或 0 两种取值，即为可操作的对象。

### 2.3.3 遗传算法对 BP 神经网络的改进

改进的BP算法，将遗传算法和BP算法结合对网络阈值和权值进行优化，避免权值和阈值陷入局部极小点。基于遗传算法改进的BP神经网络参数优化整定，它不依赖对象的模型知识，在网络结构确定之后，其控制功能能否达到要求完全取决于学习算法。

## 3 技术路线

### 3.1 实验软件

本实验主要使用的是MATLAB中的Simulink以及神经网络工具箱，故需要了解MATLAB中关于主元分析、神经网络<sup>[11]</sup>、模糊逻辑<sup>[12]</sup>、BP算法<sup>[13]</sup>、遗传算法<sup>[14~17]</sup>以及各种优化方法。掌握其使用方法是首要的学习目标，并且需要掌握遗传算法对于模糊神经网络的优化方法和编程方法。

## 3.2 实验模型

过程是由美国 Eastman（伊斯曼）化学公司的 Downs 和 Vogel 提出来的一个用来开发、研究和评价过程控制技术和监控方法的现实的化工过程模型，它来自于一个真实工业过程的仿真，很多从事相关研究的国内外学者、专家以及大量文献引用它作为数据源，来进行控制、优化、故障诊断等研究。其中的成分、动力学、运行条件等因为专利权的问题都作了修改。

表 3.1 TE 过程的控制变量

控制变量	描述	控制变量	描述
XMV(1)	D 进料量（流 2）	XMV(7)	分离器罐液流量（流 10）
XMV(2)	E 进料量（流 3）	XMV(8)	汽提器液体产品流量（流 11）
XMV(3)	A 进料量（流 1）	XMV(9)	汽提器水流阀
XMV(4)	总进料量（流 4）	XMV(10)	反应器冷却水流量
XMV(5)	压缩机再循环阀	XMV(11)	冷凝器冷却水流量
XMV(6)	排放阀（流 9）	XMV(12)	搅拌速度

## 3.3 模糊神经网络的训练与测试

利用 TE 过程产生若干正常和异常状态下的数据，将其分为训练样本和测试样本。

设  $T$  为得分矩阵， $X$  可以分解为式 3-1 所示。

$$X = TP^T = t_1 p_1^T + t_2 p_2^T + \cdots + t_m p_m^T \quad (3-1)$$

其中  $t_i, p_i$  分别为  $n$  维得分向量和  $m$  维负荷向量。各个得分向量之间是相互正交的，各个负荷向量是单位正交的，如式 3-2 所示。

$$\begin{cases} t_i^T t_j = 0, i \neq j \\ p_i^T p_j = 0, i \neq j \\ p_i^T p_i = 1, i = j \end{cases} \quad (3-2)$$

两边同时右乘  $p_i$ ，得到 3-3 式。

$$X p_i = t_1 p_1^T p_i + t_2 p_2^T p_i + \cdots + t_m p_m^T p_i = t_i \quad (3-3)$$

TE 过程的工艺流程见图 3-1。

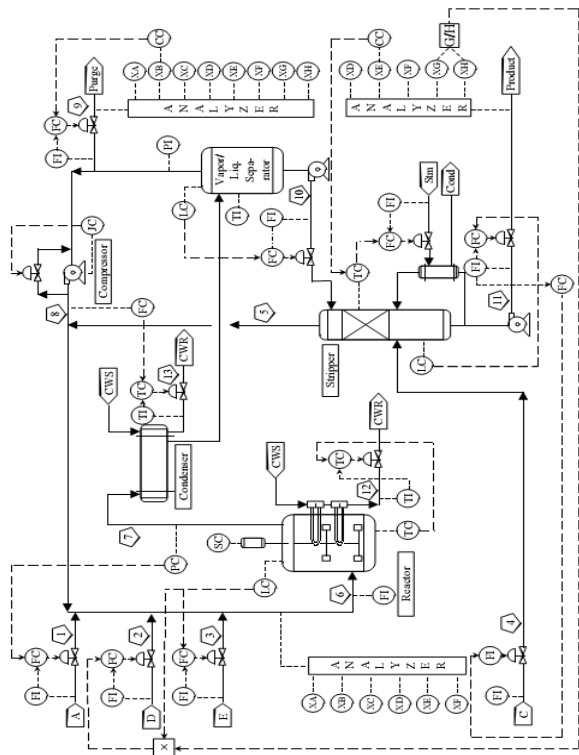


图 3-1 TE 过程的基本控制方案

物质 F 是反应的副产品。反应是不可逆、放热的，并且对反应物浓度来说，近似为一阶的。反应速度是温度的 Arrhenius 函数，其中生成 G 的反应比生成 H 的反应有更高的活化能，导致对温度具有更高的灵敏度。

3.4 基于遗传算法的神经网络

最后将改进前后的实验结果进行比较，选出学习速度和故障诊断正确率最优的一组。这样就得到了最佳的基于遗传算法改进的模糊神经网络，这也是此次实验的最终目的。总体技术框架见图3-2。

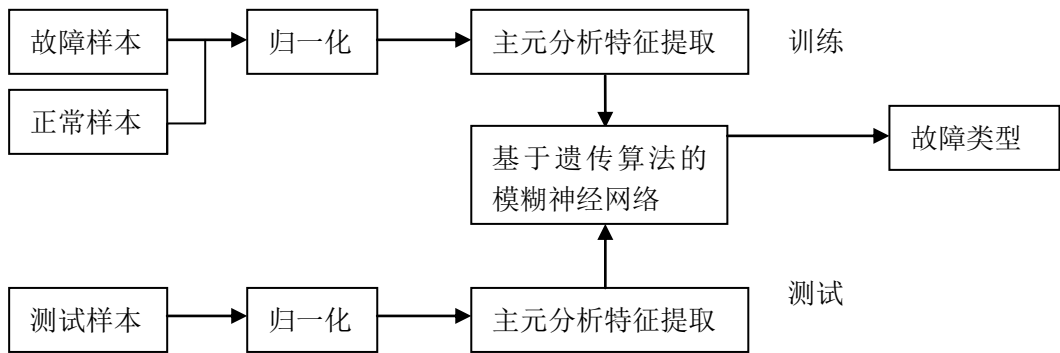


图 3-2 总体技术框架

从图 3-2 中可以清楚地了解到整个程序框架流程及各个部分的运用。

## 4 进度安排

第 1~2 周 查阅文献，进行翻译文献；

第 3~4 周 进一步熟悉课题，修改完善文献翻译，撰写开题报告并进行交流；

第 5~7 周 查阅相关文献资料，进行文献翻译工作、了解远程实验室研究背景及研究现状、远程实验室的优缺点及相关技术，准备开题报告，参与开题交流；

第 8~10 周 在分析研究远程实验系统发展现状的基础上，根据设计要求，提出远程实验系统的总设计方案。参加中期交流和考核；

第11~14周 进行远程实验系统软件设计

第15~18周 远程实验系统调试；

第 19~20 周 撰写论文、论文修改、完善；论文打印、装订，论文答辩。

## 5 参考文献

- [1]贾民平, 钟秉林.设备工况监视与故障诊断方式的研究[J].中国电力, 1997, 30(5): 28-30
- [2]李士勇.模糊控制·神经控制和智能控制论[M].哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998
- [3]赵永玲.基于神经网络控制系统的故障诊断研究[D].大庆: 大庆石油学院, 2003
- [4]朱松青, 史金飞.状态监测与故障诊断中的主元分析法[J].机床与液压, 2007, 35(1): 241-243
- [5]李想.基于主元分析的工业过程故障诊断算法研究[D].沈阳: 沈阳大学, 2010
- [6]朱大奇.人工神经网络研究现状及其展望[J].江南大学学报, 2004 (2)
- [7]董军.混沌神经网络研究进展和展望[J].信息与控制, 1997, 26(5): 360-368
- [8]李会玲, 柴秋燕.人工神经网络与神经网络控制的发展及展望[J].邢台职业技术学院学报, 2009, 26(5): 44-46
- [9]Andre Lamothe. Tricks of the Windows Game Programming GURUS[M]. USA: Pearson Education, 2004
- [10]Shoji HAYASHI, Toshiyuki ASAKURA, Sheng ZHANG. Study of Machine Fault Diagnosis System Using Neural Networks[J]. Faculty of Engineering, 2002, (4): 95-99
- [11]崔珊珊.遗传算法的一些改进及其应用[D].合肥: 中国科技大学, 2010
- [12]P.M.Frank. Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy-A survey and some new results[J]. Automatica, 1990, (26): 459-474
- [13]彭文季, 罗兴镔, 李福松等.基于频谱法和带偏差单元递归神经网络的水电机组振动故障诊断[J].机械科学与技术, 2006, 25 (11): 1281-1284

- [14]张允, 侯丽华, 宋亮.基于BP 网络模式识别的变压器故障诊断[J].长春工业大学学报, 2005, 26(4): 317-319
- [15]孙增国.神经网络和模糊专家系统在故障诊断中的应用[D].大连: 大连理工大学, 2004
- [16]Ming Rao, Haibin Yang, Heming Yang. Integrated distributed intelligent system architecture for incidents monitoring and diagnosis[J]. Computers in industry, 1998, (37): 143-151
- [17]Schumacher. Student undergraduate laboratory and project work[J]. Editorial to the issue, 2007, 28: 213–221

## 补充说明:

1. 本文为格式模板，文中内容有删减，并无连贯性，仅作参考。

### 2. 参考文献标注方法:

(1) 参考文献的编号均须在正文中所引用的内容后以上标的形式标出，且编号在文中首次引用须按从小到大的次序标记，同一篇文章可以在文中多次引用，如按[1],[2],[3],[1],[4].....，这样的标注次序是正确的，但[1],[2],[4],[3].....或者[1],[2],[1],[4],[3]是不正确的，因为[4]首次引用出现在[3]首次引用之前不正确。

(2) 英文参考文献在 5 篇以上，参考文献总数根据指导老师要求确定。

### 3. 图片、表格及公式:

图片、表格和公式在每章中连续编号，且其中图片和表格的编号必须在图表出现之前加以引用。

### 4. 参考文献主要类型及格式如下:

(1) 期刊: [序号]作者. 题名[J]. 刊名, 出版年, 卷号(期号): 起止页码.

(2) 专著: [序号]作者. 书名. 版本(初版不写)[M]. 出版地: 出版者, 出版年. 起止页码.

(3) 论文集析出文献: [序号]作者. 题名[A]. 主编. 论文集名[C]. 出版地: 出版者, 出版年. 起止页码.

(4) 学位论文: [序号]作者. 题名[D]. 保存地点: 保存单位, 年份.

(5) 专利文献: [序号]专利申请者. 题名[P]. 专利国别: 专利号, 出版日期.

(6) 电子文献: [序号]作者. 题名[EB/OL]. 电子文献地址. 发表或更新日期/引用日期.