

## Ultrasonic Test of Aero-engine Blades Based on Support Vector Machine\*

LI Zheng, LUO Fei-lu\*, PAN Meng-chun

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Support Vector Machine (SVM) is a new type of machine study method which has excellent study propensity. It can overcome the disadvantages of Neural Network (NN) such as over-studying, uncertainty of the structure and local minimization problems. Feature vectors of flaws in aero-engine blades were extracted by wavelet packet transform (WPT). A new type of ultrasonic test based on SVM was presented in the detection of aero-engine blades. Through the real tests of aircraft blades, the method could classify the typical flaws in the engine blades.

**Key words:** feature extraction; support vector machine; flaw identification

EEACC:7820

## 基于支持向量机的航空发动机叶片超声检测\*

李政, 罗飞路\*, 潘孟春

(国防科学技术大学机电工程与自动化学院, 长沙 410073)

**摘要:** 支持向量机(SVM)是一种具有出色学习性能的新型机器学习方法,它能够较好地克服神经网络容易出现的过学习、网络结构难以确定以及局部极小等缺点。研究了小波包变换提取发动机叶片缺陷特征向量的问题,提出一种基于支持向量机的航空发动机叶片超声检测方法。实验表明,基于小波包分解提取特征向量结合支持向量机的识别方法,能够有效地区分发动机叶片部件的几种典型缺陷。

**关键词:** 特征提取;支持向量机;缺陷识别

中图分类号:TP181

文献标识码:A

文章编号:1004-1699(2008)11-1940-04

随着我国国防事业的迅速发展,飞机在国防安全和国民经济中具有举足轻重的地位。但是,飞机在使用过程中形成的裂纹所导致的结构不完整性,对飞机的安全使用造成了隐患。在对飞机安全事故的统计中可以看到,飞机失事在很大程度上是发动机失效。在飞机发动机的三大核心部件中,叶片要求在很高的温度和很大的气动负荷、机械负荷下工作,工作条件和环境最差。据有关统计资料分析,因叶片蠕变断裂而造成发动机失效的比例为全部故障的75%。因此,对飞机发动机叶片的安全性、可靠性进行定量和定性的无损检测及其有效的评估,具有重要的意义。

### 1 基于小波包变换的特征向量提取

缺陷信号的特征提取是进行缺陷分类的基础,其准确性和有效性直接关系着缺陷分类的正确性,特征提取的关键在于如何将反映缺陷性质的特征从超声检测的回波信号中提取出来。小波包变换具有时频分辨率高和多分辨率分析的特点,适用于瞬态信号的分析处理,为信号特征提取提供了一种有效的手段<sup>[1-2]</sup>。图1为小波包三层分解的示意框图。

图1中,S为信号,A和D分别表示低频和高频,其后的序号数表示尺度数。小波包分解过程实

基金项目:国防预研项目资助(51317030106)“装备原位小型化、集成化、快速化无损检测技术研究”

收稿日期:2008-05-13 修改日期:2008-07-11

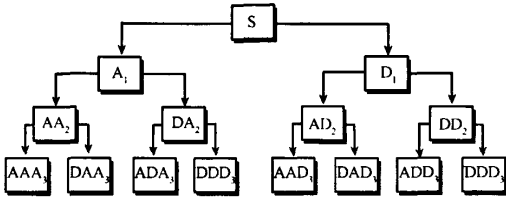


图 1 小波包三层分解示意图

质上就是通过一组低通、高通组合的共轭正交滤波器,不断将信号分解到不同的频带内。

对得到的信号进行小波包分解后,超声回波信号的性质可以用它的小波包系数来刻画,小波包系数越大,其携带的信号能量越多。将不同分解尺度上的信号能量求解出来,并选取小波包系数较大的分解尺度上的能量按尺度顺序排列,则可形成特征向量供缺陷识别使用。具体的特征向量提取过程如图 2 所示。

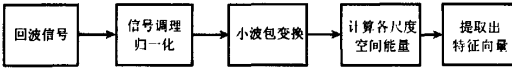


图 2 特征向量提取流程

接收到的超声回波信号含有丰富的缺陷信息,但是单纯的超声换能器接收端的信号过于微弱,不利于后端的处理,所以经过信号的放大、滤波和归一化后,再对回波信号作多层小波包变换,文中是利用 DB5 小波包作 5 层变换,分别计算各个尺度空间的能量,从中选取 [5, 0]、[5, 1]、[5, 2]、[5, 3]、[4, 12]、[3, 1]、[3, 4]、[3, 5]、[2, 1]、[1, 1] 这 10 个尺度空间的归一化能量作为用于缺陷识别的特征向量。

### 2 支持向量机

机器学习是人工智能重要的应用领域,现有的机器学习方法主要建立在统计学的理论上,传统统计学是研究样本数目趋于无穷大时的渐进理论,但在实际问题中,样本数目常常有限,甚至是小样本,因此基于大数定律的传统统计方法难以较好地发挥作用,导致一些理论上优秀的学习方法在实际应用中不能达到理想效果。Vapnik 等人提出的统计学习理论(SLT)是一种专门研究小样本的理论,避免了神经网络等方法的网络结构难于确定、过学习和欠学习以及局部极小等问题,被认为是目前针对小样本的分类、回归等问题的最佳理论。

支持向量机(Support Vector Machine)是 Vapnik 等人根据统计学理论提出的一种新的通用学习方法,它是建立在统计学理论的 VC 维理论和结构

风险最小原理基础上的,能较好地解决小样本、非线性、高维数和局部极小点等实际问题,已成为机器学习的研究热点之一,并成功应用于分类、函数逼近和时间序列预测等方面<sup>[3-5]</sup>。

#### 2.1 线性最优分类平面

SVM 是通过样本在原空间或映射到高维特征空间中构造最优分类超平面,将给定的属于两个不同类别的样本分开,构造超平面的依据是两类样本与超平面的距离最大化。目标是找到构造最优分类超平面的方法:确定向量  $\omega$  和  $b$ ,使它们满足约束条件:

$$y_i(\omega \cdot x_i + b) \geq 1, i = 1, \dots, l \tag{1}$$

引入 Lagrange 函数求解:

$$L(\omega, a, b) = \frac{1}{2} \|\omega\|^2 - \sum_{i=1}^N a_i \{y_i [\langle X_i \cdot \omega \rangle + b] - 1\} \tag{2}$$

式(2)中,  $a_i \geq 0$  为 Lagrange 乘子,对式中的  $\omega$  和  $b$  求偏微分,可以得到:

$$\max H(a) = \sum_{i=1}^N a_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_i a_j y_i y_j (x_i \cdot x_j) \tag{3}$$

根据 Karush-Kuhn-Tucker 条件,最优解  $a$  必须满足:

$$a [y_i (\langle X_i \cdot \omega \rangle + b) - 1] = 0 \tag{4}$$

#### 2.2 支持向量机模型

对于线性不可分的分类问题,可以通过非线性变换把样本输入空间转化为某个高维空间中的线性问题,在高维空间中求线性最优分类超平面,这样的高维空间也称为特征空间,在高维特征空间中实际上只需要进行内积计算,通过核函数  $k(x_i, x_j)$  满足 Mercer 条件,可以得到<sup>[6]</sup>:

$$\max H(a) = \sum_{i=1}^N a_i - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_i a_j y_i y_j k(x_i \cdot x_j) \tag{5}$$

Subject to  $\sum_{i=1}^N a_i y_i = 0, a_i \geq 0, i = 1, \dots, N$

最优判别函数为:

$$f(x) = \sum_{i=1}^N a_i y_i k(x_i \cdot x) + b \tag{6}$$

式(6)即为支持向量机(SVM)。

目前常用的核函数主要有:

多项式核函数  $K(x, y) = [(x \cdot y) + 1]^d$ ,

$d = 1, \dots, ;$

径向基核函数  $K(x, y) = \exp(-\frac{(x-y)^2}{2\sigma^2})$ 。

#### 2.3 支持向量机实现步骤

支持向量机的分类算法包括两部分,支持向量机的训练以及支持向量机分类<sup>[7-8]</sup>,如图 3 所示。

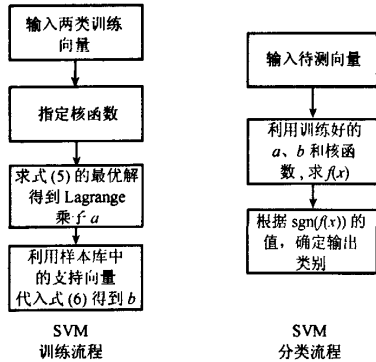


图3 SVM的训练及分类流程图

### 3 实验及分析

#### 3.1 实验设备

图4所示为自行研发的一套数字式超声检测实验系统,它由超声波产生/接收板、A/D转换板、PC机以及超声探头组成。为了模拟叶片上的缺陷,人工制作了不同尺寸、不同深度的平底孔以及平底槽缺陷。利用该系统对缺陷检测的回波波形如图5所示。



图4 数字式超声检测实验系统

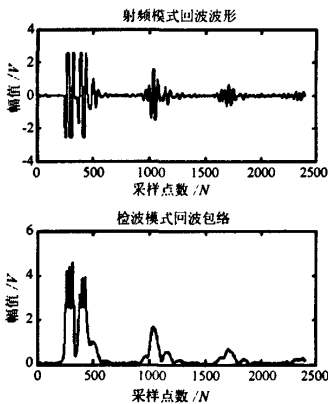


图5 缺陷回波波形

#### 3.2 实验分析

实验过程中,首先将探头置于无缺陷的位置,采集回波数据40次;然后找到缺陷所在的位置,移动探头使得缺陷的回波达到最大幅值时,开始采集回波数据。对制作的每一个缺陷重复采集40次,这样

可以得到240组缺陷回波。对所采集的缺陷回波进行db5小波包变换并计算各个尺度空间的能量,图6为提取出的相应的特征值。

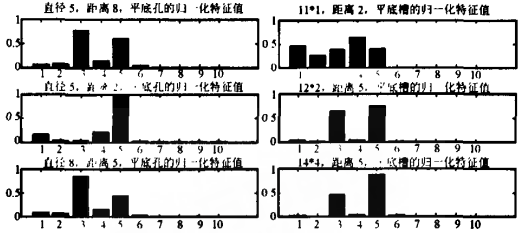


图6 人工缺陷提取出的特征值

首先将无缺陷的回波特征值30组和有缺陷的回波特征值60组用于训练SVM分类器,文中利用径向基核函数  $K(x,y) = \exp(-\frac{(x-y)^2}{2\sigma^2})$  作为SVM的核函数,通过对MATLAB中lsvm进行编程,以实现SVM分类器的训练,将剩下的无缺陷回波特征值10组和任取有缺陷的回波特征值20组用于测试SVM分类器,测试结果如表1所示。

表1 SVM缺陷存在判断

分类器	缺陷情况	训练样本	测试样本	错误数量	正确数量	准确率/%
SVM	有缺陷	60	20	2	18	90
SVM	无缺陷	30	10	1	9	90

从表1中可以得到,SVM分类器可以有效判断缺陷存在的有无。然后在含有缺陷的240组特征值中,取200组作为训练样本,剩下的40组作为测试样本,再一次进行SVM缺陷分类的测试。图7为利用SVM对缺陷的分类结果。

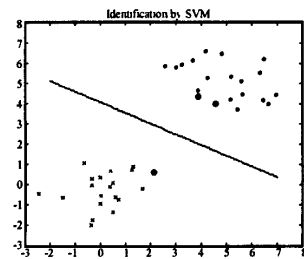


图7 SVM对缺陷的分类

表2所示为SVM对平底孔和平底槽两种缺陷的分类判断。从表中可以得到,SVM分类器可以有效区分不同的缺陷类型,并具有较高的准确率。

表2 SVM缺陷分类结果

分类器	缺陷形式	训练样本	测试样本	错误数量	正确数量	准确率/%
SVM	平底孔	100	20	2	18	90
SVM	平底槽	100	20	1	19	95

## 4 结论

文中研究了利用小波包变换提取超声波缺陷信号特征值, 并将其与支持向量机结合在一起对航空发动机叶片上可能产生的缺陷进行分类判断。实验表明, 这种缺陷的判断分类方法具有较高的准确率及应用价值。

### 参考文献:

- [1] Coifman R. R and Wickerhauser. M. V. Entropy-Based Algorithms for Best Basis Selection[J], IEEE Transactions on Information Theory, 1992, 36:713-718.
- [2] 张海燕, 周全, 夏金东. 超声缺陷回波信号的小波包降噪及特征提取[J]. 仪器仪表学报, 2006, 1(27): 94-97.
- [3] 刘东, 葛运建, 基于 SVM 预测器的传感器故障诊断与信号恢

复研究[J]. 传感技术学报, 2005, 18(2): 97-135.

- [4] Tsujinishi D, Abe S, Fuzzy Least Squares Support Vector Machines for Multi-Class Problems[J]. Neural Networks, 2003, 16: 785-792.
- [5] Zhang H R, Wang X D. A Review of Support Vector Machine Learning Algorithms[J]. Journal of Zhejiang Normal University, 2005, 28(3): 283-288.
- [6] Dietterich T G, Bakiri G, Solving Multi-Class Learning Problems Via Error-Correcting Output Codes[J]. J. Artif. Intell. Res. 1995, 2: 263-286.
- [7] 杨淑莹, 模式识别与智能计算—Matlab 技术实现[M]. 电子工业出版社, 2008: 133-139.
- [8] Bettayeb Fairouz, Rachedi Tarek, Benbartaoui Hamid. An Improved Automated Ultrasonic NDE System by Wavelet and Neuron Networks[J]. Ultrasonics, 2004, 42 (1-9): 853-858.



李 政(1981-), 男, 汉, 博士研究生, 主要从事无损检测等方面的研究, lzemily@vip. 163. com



罗飞路(1946-), 男, 现任教于国防科技大学机电工程与自动化学院, 教授、博士生导师。主要从事测控技术、应用电子技术方面的研究。主持过国家 863、国防预研等项目。

# 基于支持向量机的航空发动机叶片超声检测

作者: [李政](#), [罗飞路](#), [潘孟春](#), [LI Zheng](#), [LUO Fei-lu](#), [PAN Meng-chun](#)  
 作者单位: [国防科学技术大学机电工程与自动化学院, 长沙, 410073](#)  
 刊名: [传感技术学报](#) **ISTIC PKU**  
 英文刊名: [CHINESE JOURNAL OF SENSORS AND ACTUATORS](#)  
 年, 卷(期): 2008, 21(11)  
 引用次数: 0次

## 参考文献(8条)

1. Coifman R R, Wickerhauser M V [Entropy-Based Algorithms for BeSt Basis Selection](#) 1992
2. 张海燕, 周全, 夏金东. [超声缺陷回波信号的小波包降噪及特征提取](#) [期刊论文]-[仪器仪表学报](#) 2006(1)
3. 刘东, 葛运建. [基于SVM预测器的传感器故障诊断与信号恢复研究](#) [期刊论文]-[传感技术学报](#) 2005(2)
4. Tsujinishi D, Abe S [Fuzzy Least Squares Support Vector Machines for Multi-Class Problems](#) 2003
5. 张浩然, 汪晓东. [支持向量机的学习方法综述](#) [期刊论文]-[浙江师范大学学报\(自然科学版\)](#) 2005(3)
6. Dietterich T G, Bakiri G [Solving Multi-Class Learning Problems Via Error-Correcting Output Codes](#) 1995
7. 杨淑莹. [模式识别与智能计算-Matlab技术实现](#) 2008
8. Bettayeb Fairouz, Raehdi Tarek, Benbartaoui Hamid [An Improved Automated Ultrasonic NDE System by Wavelet and Neuron Networks](#) 2004(1-9)

## 相似文献(10条)

1. 学位论文 [王辉](#) [基于核主成分分析特征提取及支持向量机的人脸识别应用研究](#) 2006  
 支持向量机方法由于具有理论完备、全局优化、泛化性能好等特点正在成为人工智能研究领域的研究热点; 而核主成分分析方法由于具有特征提取速度快, 特征信息保留充分等特点, 也被越来越多的研究者所重视, 本文将二者相结合应用于人脸识别中, 主要的工作内容如下: (1) 整理总结了国内外学术界关于统计学习理论和核主成分分析方面的研究成果, 介绍统计学习理论的基本概念和支持向量机的基本原理以及核主成分分析的基本思想; (2) 研究了支持向量机、层次支持向量机、主成分分析以及核主成分分析的基本原理, 分析了它们各自的优缺点, 并详细阐述了核主成分分析结合层次支持向量机在图像识别中的优势。 (3) 在实验中, 利用核主成分分析对人脸进行特征提取, 再利用层次支持向量机对其进行识别, 在得到较好的识别效果的同时, 减少了人脸训练识别的时间。
2. 期刊论文 [胡桥](#), [何正嘉](#), [张周锁](#), [瞿艳阳](#), [Hu Qiao](#), [He Zhengjia](#), [Zhang Zhouuo](#), [Zi Yanyang](#) [经验模式分解模糊特征提取的支持向量机混合诊断模型](#) -[西安交通大学学报](#) 2005, 39(3)  
 为解决机械故障小样本模式识别问题, 有效地提高分类的准确率, 提出了一种基于经验模式分解模糊特征提取的支持向量机混合诊断模型。该模型通过对信号进行经验模式分解, 提取信号的本征模分量并转化为模糊特征向量, 对机器故障进行诊断, 然后将模糊特征向量输入到多分类的支持向量机中, 实现了对机器不同故障类型的识别。将该模型应用于汽轮发电机组的3种工作状态的识别中, 测试结果表明, 同原有的未经过任何特征提取以及经过小波包模糊特征提取的2种多分类支持向量机方法相比, 该模型将分类准确率从原有的53.33%和86.67%提高到100%, 有效地改善了分类的准确性。同时, 该模型还为汽轮发电机组的故障确诊提供了有力依据。
3. 学位论文 [王晔](#) [支持向量机文本分类的关键问题研究](#) 2005  
 随着计算机网络、数据库、多媒体等技术的飞速发展和日益普及, 因特网上的可用信息以惊人的速度增加, 仅Google搜索引擎索引到的网页就高达80亿张以上。因特网信息表现为文本、音频、图象和视频等, 其中文本类信息占绝大多数。为了更好地处理这些数量庞大、结构不确定的文本类信息, 人们迫切需要一些高效的文本检索、查询和过滤系统, 而文本分类正是实现这些系统所需的一项关键技术。文本分类是指一个把自然语言的文本按其内容归入一个或多个预先定义好的类别的过程。由于网上信息数量巨大而且存在形式多样, 因此传统的由专家进行手工分类的方法已无法满足现阶段应用的需要。自动文本分类是在给定的分类体系下, 由特定的算法根据文本的内容确定与之相关联的类别。自动文本分类是人工智能技术和信息技术相结合的研究领域, 是进行基于文本内容的自动信息处理的核心技术。支持向量机是在上世纪末发展起来的一种基于结构风险最小化准则的分类学习机模型。它通过构造并求解目标函数来获得两类样本数据之间的决策超平面, 以保证最小的分类错误率。从实际分类效果来看, 支持向量机在解决小样本、非线性及高维的模式识别问题时是目前已知的分类器中效果最好的, 而这些问题恰是文本分类问题所面临的困难。因此, 支持向量机和文本分类问题有着良好的结合点。虽然支持向量机的训练算法本身就可以克服特征词向量维度过高的问题, 但针对文本样本的特征提取步骤仍是不可或缺的, 这是因为当大量特征词与分类无关时, 只会使支持向量机“过适应于”训练样本而降低推广性能。此外, 传统的基于词频统计的特征提取方法也无法体现词与词之间的相互联系。针对这一问题, 本文的第二章将潜在语义索引和粗糙集特征提取结合起来, 提出了一种在潜在语义空间利用粗糙集进行特征提取的方法, 试验结果表明采用新方法提取特征可以明显改善支持向量机的推广性能。在分类问题广泛应用的允许训练误差的高斯核函数的支持向量机中, 核参数 $\sigma$  2和折衷参数 $C$ 对于支持向量机的分类性能有着至关重要的影响。模型选择, 即如何选择恰当的训练参数, 一直是支持向量机研究的一个重要课题。本文的第三章对这一问题进行了分析, 并提出了判断参数选择恰当与否的简化评价指标, 并在此基础上提出了一种两步骤的选择恰当参数的方法。第三章的试验表明, 简化计算方法可以快速而准确地计算推广误差评价指标, 参数选择算法可以搜索到最佳的训练参数。传统支持向量机最大的困难在于当训练样本数量较大时, 支持向量机的训练时间较长。这是因为采用解法时, 训练复杂度与样本数量的平方成正比。如何降低支持向量机的训练复杂度一直都是一个棘手的问题, 本文的第四章根据预选支持向量的思路对上述问题进行了分析, 将粗糙集的概念引入了支持向量的预选分析过程中。第四章提出的新算法选取两类样本的上近似集的交集作为支持向量的候选集, 并对两类样本上近似集交集的一致性进行了证明。试验表明, 训练样本的上近似集的交集可以代替全部训练集进行训练, 从而提高训练速度。支持向量机的基本模型是针对两类样本集提出的, 在处理多类样本集的分类问题时, 目前效果最好的方法是训练一系列针对两类样本的子分类器。尽管这种方法可以获得令人满意的分类效果, 但其训练时间比较长。我们认为, 在多数情况下, 并不是所有的子分类器都值得训练, 部分子分类器是冗余的。本文的第五章对训练子分类器的必要性进



行了分析,并提出一种采用主动学习策略的多类别支持向量机,新算法按子分类器的重要程度逐渐训练子分类器。实验证明,这一算法可以在几乎不降低分类性能的基础上,显著减少子分类器的个数。直推式支持向量机是直推式学习理论和支持向量机的结合,它是目前分类效果最好的支持向量机。但它的分类效果极其依赖于事先指定的正样本数量 $N_p$ 的选择。当 $N_p$ 与实际情况相差较大时,直推式支持向量机的分类性能甚至还不如普通的支持向量机。本文的第六章着重讨论了直推式支持向量机对 $N_p$ 的值过分敏感的问题,提出了逐个判定准则来调整测试集松弛变量的类别标签,从而使 $N_p$ 的值在训练过程中可变。实验结果表明,改进后的方法使直推式支持向量机不再对事先指定的 $N_p$ 的选择敏感,能稳定地获得较好的分类效果。网页是带有特定结构信息并说明链接关系的文本,与纯文本相比,网页的信息量更大、样本与样本之间的联系更紧密,但也比纯文本分类问题更加难以处理,要考虑更多因素。本文的第七章在分析了模糊直推式支持向量机在网页处理方面不足的基础上,从超链接分析的过程和利用网页重要性信息这两方面对其进行了改进。基于网页数据的试验表明,新算法有更强的适应性和更高的准确性。综上所述,本文的主要创新包括如下几方面的内容:

1. 根据文本分类领域的特征,改进了留一错误的评价指标和模型选择算法,显著提高了模型选择的效率;
2. 提出了基于粗糙集的支持向量预选方法,缩短了训练的时间;
3. 针对多类别分类问题,提出了采用主动学习策略的多类别支持向量机,可以在几乎不降低分类性能的前提下,减少子分类器的个数;
4. 提出了更恰当的直推式支持向量机松弛变量标签调整准则,从而能稳定地获得较好的分类效果。

此外,本论文还在特征词的提取方法和网页分类等方面进行了研究和改进,使特征提取和网页分类的性能都有所提高。

#### 4. 学位论文 [岑涌 基于特征提取与支持向量机的企业财务困境预测研究](#) 2007

在激烈的市场经济中,通过构造合理的财务困境预测模型,正确地预测企业财务困境,对于保护投资者和债权人的利益、经营者防范财务危机和政府管理部门监控上市公司及证券市场风险将具有重大的现实意义。统计学习理论是一种专门研究有限样本情况下机器学习规律的理论,追求在有限信息的条件下得到最优结果。支持向量机是在统计学习理论的基础上发展而来的一种新的机器学习方法,在解决有限样本、非线性及高维模式识别问题中表现出许多特有的优势。本文在回顾和总结大量国内外相关财务危机和破产预测研究文献的基础上,利用统计检验方法对国内和国外企业财务数据指标变量进行分析。本文采用数据挖掘领域的有效算法——支持向量机分类器作为建模方法,将独立成分分析方法作为特征选择工具引入到建立企业财务困境预测模型中,对企业财务数据中的财务指标比率进行有效选取,从而优化和提高基于支持向量机的财务困境预测模型的性能。通过对来源于国内外企业财务困境或破产数据样本的进行实证分析,并与其他方法比较实验结果,证实了通过独立成分分析方法与支持向量机分类器建立企业财务困境预测模型研究的有效性与其实用性。

#### 5. 期刊论文 [程存归,田玉梅,金文英,CHENG Cun-Gui,TIAN Yu-Mei,JIN Wen-Ying 应用小波特征提取肺癌组织](#)

##### FTIR的支持向量机分类方法研究—化学报2007,65(22)

提出了一种新的基于傅里叶变换红外光谱(Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)的小波特征提取与支持向量机(SVM)分类方法以提高FTIR对早期肺癌的诊断准确率,对肺正常组织、早期肺癌及进展期肺癌组织的FTIR,利用连续小波(CW)多分辨率分析法提取9个特征量,支持向量机将其分为正常组与非正常组(包括早期肺癌和进展期肺癌),对正常组织、早期肺癌和进展期肺癌的识别,多项式核函数和径向基函数的识别准确率最高。多项式核函数对正常组织、早期肺癌和进展期肺癌的识别准确率分别为100%,95%及100%;径向基函数分别为100%,95%和100%。实验结果表明FTIR-CW-SVM模式分类方法对正常肺癌组织、早期肺癌及进展期肺癌的识别具有较好的可行性。

#### 6. 期刊论文 [刘杰,甘旭升,高海龙,王美义,LIU Jie,GAN Xu-sheng,GAO Hai-long,WANG Mei-yi 基于偏最小二乘特](#)

##### 征提取的支持向量机回归算法—火力与指挥控制2009,34(9)

为了提高SVM的建模质量,简化建模难度,提出了PLS-SVM组合回归建模方法。该方法通过PLS对样本数据进行降维、去噪以及消除共线性处理后,再进行SVM回归建模,不仅保持了SVM良好的模型性能,而且使SVM具备特征提取功能。实验结果表明,该方法是可行的,采用此法构建的SVM模型,泛化性能优于没有特征提取的SVM。

#### 7. 期刊论文 [李宏坤,周帅,孙志辉,LI Hong-kun,ZHOU Shuai,SUN Zhi-hui Hilbert谱特征提取与支持向量机的状态](#)

##### 识别方法研究—振动与冲击2009,28(6)

介绍一种新的基于振动信号分析的状态识别方法,即Hilbert时频谱重心与支持向量机相结合的进行设备故障诊断的分类方法。根据信号的循环平稳性,采用同步平均对信号进行预处理,实现从时域到角度域的转换;之后进行经验模式分解,计算得到Hilbert时频谱;在此基础上计算Hilbert时频谱的重心,构建一个特征向量,最后采用支持向量机进行训练和学习,实现设备的状态识别。并以滚动轴承的状态识别为例证明此方法的有效性。研究表明,此方法有助于设备预测维修的发展。

#### 8. 学位论文 [邱立帅 支持向量机在水下目标识别中的应用研究](#) 2008

本文的研究方法是利用水下目标的回波特性来作识别。具体地说,就是由主动声纳向待识别的水下目标发射信号,并且从回波当中提取出水下目标的有效特征信息,再将特征信息送入分类器进行识别分类。本论文主要进行了以下工作:

1. 综述了水下目标识别的背景和意义,以及国内外对水下目标的探测和识别的方法和研究现状。
2. 特征提取的过程是把采集到的壳体目标和石头的回波信号变换到不同的特征空间,提取出反映样本本质特征的特征向量,并将特征向量送到分类器中。为了研究不同特征提取方法的性能,本文采用了四种特征提取方法,即小波包能量特征提取、常数Q滤波器带能量特征提取、双谱能量特征提取和主成分分析特征提取。然后对壳体目标和石头所提取的有效特征,利用K-L变换对其进行可行性判决,分别判断四种特征提取方法的有效性。
3. 叙述了统计学习理论和统计学习机理论。基于统计学习理论的支持向量机算法具有坚实的数学理论基础和严格的理论分析,有效地提高了算法泛化能力。而核函数的成功运用使大多数不可分的低维空间映射到高维空间后变为可分,并且有效的消除了维数灾难这个缺点。
4. 叙述了支持向量机的SMO等三种算法并设计了三种分类器。
5. 运用四种方法分别对吊放目标测量数据、掩埋定点测量数据和掩埋扫描测量数据进行特征提取,再将特征提取结果送入三种分类器,以比较分类器的识别分类性能。

目前,支持向量机方法的应用还在不断的完善,以便在更广泛的领域中得到应用。本文中支持向量机方法的应用及其性能的优越性,对水下目标识别的研究具有重要的意义。

#### 9. 学位论文 [梁万杰 基于GSLPP特征提取算法和多元融合的人脸识别方法研究](#) 2009

人脸识别方法和关键技术是当前FERET识别和计算机视觉领域的一个研究热点。人脸识别的步骤主要包括人脸检测、特征提取和特征分类。本文主要对人脸特征提取和特征分类进行了深入的探讨和研究,提出了基于Gabor小波变换的有监督局部保持投影算法(Based on Gabor Feature Supervised locality preserving projection, GSLPP)并应用于人脸特征提取,及最近邻特征线分类器与支持向量机分类器二级融合的分类方法应用于特征分类,本文的主要工作如下:

- (1)在人脸识别的特征提取阶段,本文采用了基于Gabor小波的一种有监督的LPP算法,该方法先用Gabor小波对人脸图像进行滤波处理,然后直接对每个LPP基向量进行线性判别分析,选择最具判别力的基向量来构造子空间。Gabor滤波器对图像的亮度和对尺度变化以及人脸姿态变化有较强的鲁棒性,并且它表达的是对人脸识别最为有用的局部特征。基于以上优点本文先采用Gabor小波对人脸图像进行滤波处理。提取人脸Gabor特征通常要对一幅图像进行四十次滤波处理,这会使图像的维数增加,从而影响识别的效率,为了提高识别的速度,必须采取有效的降维方法来降低数据的维数。本文采用有监督的局部保持投影算法提取经Gabor小波滤波后的人脸图像的主要特征。局部保持投影是一种新的子空间分析方法,它是非线性方法Laplacian Eigenmap的线性近似,既解决了PCA等传统线性方法难以保持原始数据非线性结构的缺点,又解决了非线性方法难以获得新样本点低维投影的缺点。但LPP算法是一种无监督的学习方法,当人脸图像的光照、姿态、表情发生变化时,LPP的识别率会迅速下降。本文提出的一种有监督的L2P算法,因其直接对每个LPP基向量进行线性判别分析,选择最具判别力的基向量来构造子空间,有效的提取了人脸图像的分类特征,实验证实其在特征提取方面具有较好的效果。
- (2)在人脸识别的人脸特征分类阶段,本文提出最近邻特征线分类器与支持向量机分类器以串联的方式构建一个二级融合的分类器。如果将多种不同的分类器以某种方式进行组合,就有可能在总体上取得比单一分类器更好的分类效果。基于此观点,本文提出了一种将最近邻特征线分类器与支持向量机分类器进行二级融合的分类器设计方法。利用该融合分类器分类时,先采用最近邻特征线分类器进行第一级分类,若结果大于设定的阈值,则识别,否则,转入后级分类器,用支持向量机分类器进行精确分类。该多分类器融合方法不仅充分利用了支持向量机分类器识别率高和最近邻特征线分类器速度快的优点,而且还利用最近邻特征线分类器的结果指导支持向量机分类器的训练和测试,从总体上提高了分类的精度。

应用上述方法,结合FERET人脸图像库和JDL人脸数据库进行实验,结果表明本文提出的人脸识别方法与其它(PCA, LDA等)识别方法具有较好的人脸识别效果。

10. 期刊论文 [张小丹, L\(U\) Jian-ping, ZHANG Xiao-dan, L\(U\) Jian-ping 基于支持向量机的特征提取方法研究 - 计算机与现代化2008\(8\)](#)

基因表达数据的一个重要应用是给组织样本进行分类. 在基因表达数据中, 基因的数量相对于数据样本的个数通常比较多; 也就是说, 可以得到变量数(基因数)远远大于样本数的数据矩阵. 过高的维数(变量或基因数)将给分类问题带来极大的挑战. 本文提出结合一种新的特征提取方法——非相关线性判别式分析方法(ULDA)和支持向量机(SVM)分类算法, 对结肠癌组织样本进行分类识别, 并同其它方法作了比较研究, 结果表明了该方法的可行性和有效性.

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_cgjsxb200811027.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_cgjsxb200811027.aspx)

下载时间: 2010年4月15日