

桥梁结构损伤诊断的 模式识别理论及其工程应用

METHODS AND APPLICATION OF
PATTERN RECOGNITION METHODOLOGY IN
DAMAGE IDENTIFICATION OF
BRIDGE STRUCTURES

冉志红 屈俊童 和 飞 编著



科学出版社

桥梁结构损伤诊断的模式识别理论 及其工程应用

METHODS AND APPLICATION OF PATTERN
RECOGNITION METHODOLOGY IN DAMAGE
IDENTIFICATION OF BRIDGE STRUCTURES

冉志红 屈俊童 和 飞 编著

科学出版社

北 京

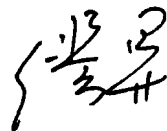
序 言

桥梁工程是国家重要的基础设施投资项目,同时也是生命线工程的重要组成部分。桥梁建成通车以后,随着时间的推移,由于环境腐蚀、车辆载重及交通流量的增加等种种因素,其可靠度有所下降,结构功能不足,以至于严重损伤,甚至影响车辆运营的安全。20世纪80年代中后期,欧美一些国家首先明确地提出了结构健康监测的新理念,并先后在一些重要的大跨度桥梁或结构体系新颖的桥梁上安装了健康监测系统。到了90年代,亚洲一些国家如日本、韩国等开始研究并在一些大型桥梁上安装健康监测系统。随着经济社会的发展,人们对防灾减灾日益重视,大型桥梁结构健康监测迅速成为国际上研究的热点问题之一。21世纪初,全球范围内的在役工程结构进入修复期,如重建新桥不仅耗费巨额投资,而且需要较长的时间,影响国民经济的快速发展,所以各国都视旧桥为宝贵财富,力图通过修复加固,予以充分利用。因此建立桥梁结构损伤诊断的鉴定方法和技术手段已经成为当务之急。

结构动力损伤识别方法的基础工作是将直接得到的测试数据转换为中层和高层特征数据,以实现降低噪声干扰、提高损伤灵敏度、增强类别可分性的三个主要目标。本书主要研究如何将信噪比较小、数据量又较大的动力测试数据转换为反映结构本质属性的中层特征数据,并且进行特征的优化处理从而得到便于进行结构损伤识别的高层特征数据,最终为各种结构动力损伤识别方法提供原材料。本书重点介绍了动力指纹的噪声灵敏度、损伤灵敏度,以及如何从基本特征库中经过适当的特征选择、特征提取得到优化特征库等问题,研究了基于指纹的模式识别方法,最后还针对多重子步法的软分区相关问题进行了研究;通过理论推导和计算分析,取得了一定的研究成果,为推动结构损伤诊断方法在实际工程实践中的应用作出了一定的贡献,具有广阔的应用价值和前景。本书所提出的桥梁结构损伤诊断的模式识别理论,既包括对既有桥梁结构进行评价的理论和方法,也包括桥梁健康监测系统中几个重要的功能模块所涉及的技术。对桥梁结构损伤诊断的模式识

别理论的研究,不仅可以为桥梁结构评估与加固研究领域提供坚实的理论基础,同时也可以为大型桥梁结构健康监测提供核心技术。

云南大学城市建设与管理学院院长



2011.1.12

前 言

近年来,结构损伤诊断在桥梁工程领域迅速发展,但许多损伤诊断方法面对大型工程结构时却遇到了许多困难,尚有许多问题需要深入探讨。由于土木工程结构的损伤模式比机械结构的繁杂得多,模式识别方法起初并未受到足够重视。而近年来在模式识别方面又有了新的认识,一方面针对具体结构进行危险性分析,将损伤的可能模式进行大量的缩减;另一方面是对模式识别方法本身的深入研究,认为模式识别不仅具有高抗噪能力、强非线性能力、处理数据不完备的能力等诸多优点,而且可以进行自组织、自适应、无反馈式的学习,促使模式识别方法在结构损伤诊断中的应用迅速发展起来。本书主要是对目前国内外桥梁结构损伤诊断的模式识别方法研究成果进行系统的归纳和总结,其中包括作者近年来的最新研究成果。

在桥梁结构损伤诊断的模式识别理论中,其基础工作是将直接得到的测试数据转换为中层和高层特征数据,以实现降低噪声干扰、提高损伤灵敏度、增强类别可分性的三个主要目标。为此需研究如何将信噪比较小、数据量又较大的动静力测试数据转换为反映结构本质属性的中层特征数据,并且进行特征的优化处理,从而得到便于进行结构损伤诊断的高层特征数据,最终为各种结构动力损伤诊断方法提供原材料。

本书重点介绍了指纹的噪声灵敏度、损伤灵敏度,以及如何从基本特征库中经过适当的特征选择、特征提取得到优化特征库等问题。最后还针对多重子步法的软分区相关问题进行了研究。

本书系在“云南省 211 重点学科建设——云南大学‘防灾减灾及防护工程’专业建设”项目、“在役桥梁健全性评估理论及其工程应用(云南省科技厅应用基础研究基金:2008CD078)”项目、“斜拉桥索塔锚固区的简化分析方法及其工程应用(云南省教育厅科学研究基金:2010Y239)”项目等的支持下完成的。本书得到了叶燎原教授、缪昇教授、刘本玉教授的大力支持和帮助。在此谨向悉心支持和帮助本书出版的有关单位、专家致以诚挚的谢意!

当然,结构损伤诊断本身是一个异常复杂的科学问题,尚需脚踏实地、深入细致地开展各项研究工作。本书不可避免存在不足之处,还望同行批评指正。本书作者也会一如既往地在该领域各个方面开展相应的科学研究和工程实践活动,正所谓“路漫漫其修远兮,吾将上下而求索”。

目 录

序言

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 模式识别概况	3
1.2 桥梁健康监测系统概况	8
1.3 基于模式识别的桥梁结构损伤诊断理论	10
参考文献	12
第 2 章 桥梁结构损伤诊断研究概述	13
2.1 桥梁结构损伤诊断的研究概况	13
2.1.1 简述	13
2.1.2 有反演的静力识别方法	15
2.1.3 有反演的动力识别方法	16
2.1.4 动静力联合反演识别方法	20
2.1.5 模式识别方法	20
2.1.6 基于时频分析的识别方法	23
2.2 研究的主要困难和发展方向	25
参考文献	27
第 3 章 桥梁结构指纹分析理论	31
3.1 结构指纹分析的基本概念	31
3.1.1 简述	31
3.1.2 模态参数识别方法	33
3.1.3 动力指纹分类	42
3.1.4 静力指纹分类	51
3.2 结构模态参数的噪声研究	51
3.2.1 测试及环境条件的影响	52
3.2.2 结构的不确定性	55
3.2.3 模态参数的噪声理想化模型	58
3.3 动力指纹灵敏度分析	60
3.3.1 灵敏度分析基本理论	60
3.3.2 噪声灵敏度	62

3.3.3 损伤灵敏度	65
3.4 振型的扩展与修正	68
3.4.1 振型扩展	68
3.4.2 振型修正	68
3.5 连续梁桥灵敏度分析	69
3.5.1 频率和振型灵敏度分析	70
3.5.2 其他指纹计算结果	78
参考文献	84
第4章 特征选择与特征提取	87
4.1 概况	87
4.2 特征选择的基本原理及计算方法	89
4.2.1 特征选择的基本原理	89
4.2.2 相关分析法	91
4.2.3 遗传算法	92
4.3 特征提取的基本原理及计算方法	103
4.3.1 主成分分析	104
4.3.2 Fisher 判别法	106
4.3.3 三谱相辅的基本理论	109
4.3.4 三谱相辅的特征提取策略	115
4.4 结构基本特征库的优化	117
4.5 数值算例	119
4.5.1 基本特征库	119
4.5.2 相关分析	120
4.5.3 三谱相辅特征提取	121
4.5.4 遗传算法	121
4.5.5 主成分分析与 Fisher 判别分析	123
参考文献	124
第5章 桥梁结构损伤诊断的模式识别理论	128
5.1 模式分类器设计	128
5.2 近邻法	133
5.2.1 最近邻法	133
5.2.2 K 近邻法	133
5.3 线性判别分析	134
5.3.1 线性判别函数和判定面	135
5.3.2 广义线性判别分析及多类问题	135

5.3.3 线性分类器	137
5.4 人工神经网络	139
5.4.1 BP 神经网络	140
5.4.2 RBF 神经网络	141
5.5 多重子步法	142
5.5.1 硬分区法	143
5.5.2 软分区法	144
5.6 数值算例	147
5.6.1 损伤位置的识别	147
5.6.2 损伤程度的识别	151
5.6.3 不同特征库下损伤诊断的比较	153
5.6.4 多重子步法的损伤诊断	153
5.6.5 结构多损伤下的识别	163
参考文献	165
第 6 章 某简支梁桥损伤诊断与评估	166
6.1 工程概况	166
6.2 桥梁检测方案	167
6.2.1 桥梁基本情况调查	167
6.2.2 桥梁材质状况及耐久性检测	168
6.2.3 静载试验方案	169
6.2.4 静载试验测试内容与测点布置	172
6.2.5 动载试验方案	173
6.2.6 试验仪器设备	174
6.3 理论计算分析	175
6.3.1 计算简介	175
6.3.2 静载试验效率系数	176
6.3.3 动力计算结果	177
6.4 桥梁静载试验结果	178
6.4.1 挠度量测及校验系数	178
6.4.2 应力-应变测试结果	181
6.4.3 桥梁结构承载能力评定结果	184
6.5 桥梁动载试验结果及其分析	185
6.5.1 自振频率	185
6.5.2 冲击系数	186
6.5.3 桥梁结构固有模态参数评定	187

6.6	桥梁结构损伤位置的判别	187
6.6.1	桥梁结构损伤诊断的模式识别方法及程序实现	187
6.6.2	损伤识别输入数据	193
6.6.3	损伤位置识别结果	194
6.7	桥梁现状调查及评定结果	196
6.7.1	桥梁表观调查	196
6.7.2	表观调查评定结果	197
6.8	桥梁结构材料检测及评定结果	198
6.8.1	混凝土强度检测及评定结果	198
6.8.2	混凝土碳化深度检测及评定结果	198
6.8.3	混凝土构件裂缝检测及评定结果	199
6.8.4	钢筋锈蚀检测及评定结果	199
6.8.5	桥梁结构材质状况综合评定	199
6.9	桥梁安全性及承载力综合评定及结论	200
附录		202
1	桥梁结构技术状况分类标准	202
2	CBBDFAS 程序(MATLAB 语言)	203

第 1 章 绪 论

桥梁工程是国家重要的基础设施投资项目,也是生命线工程的重要组成部分。桥梁建成通车以后,随着时间的推移,由于环境腐蚀、车辆载重及交通流量的增加等,桥梁可靠度下降,结构功能变得不足,甚至严重损伤,甚至影响车辆运营的安全。

21 世纪初,全球范围内的在役工程结构进入修复期。由于大量重建新桥不仅耗费巨额投资,而且需要较长的时间,影响国民经济的快速发展,各国都视旧桥为宝贵财富,力图通过修复加固,予以充分利用,因此完善桥梁结构的鉴定方法和技术手段成为当务之急。

在世界各国,特别是发达国家,大部分桥梁已经修建了较长时间。美国、加拿大、欧洲以及澳大利亚等国家的桥梁主要是在第二次世界大战后 20 世纪 50 年代至 70 年代建成。当前各发达国家在经历了“大规模新建”、“新建和维修并举”两个阶段以后,已经将重点转向了既有工程结构的维修与改造上。

英国约有 92 000 座桥梁是在 1922 年以前建造的,当时尚未引入荷载标准,导致约有 25% 的桥梁不能满足现代规范要求,如果采用重建、维修使之满足要求,估计所需费用达 8.3 亿英镑。英国自 1964 年以来的维修改造项目逐年增加,据统计 1978 年其投资用于改造的费用是 1965 年的 3.76 倍,至 1980 年维修改造的投资占工程建设总投资的 34%。据 1979 年的调查,英国有 36% 的混凝土结构需重建或改建,每年用于维修钢筋混凝土结构的费用高达 5.5 亿英镑;英国运输部在 1990 年抽样调查过 200 座混凝土公路桥,调查结果显示,大约 30% 的桥梁运营条件不良,预计对其运输部拥有的约 6000 座桥在 10 年内进行恢复费用为 6200 万英镑。

德国通过对一个州内的钢筋混凝土桥梁和预应力混凝土桥梁的全面调查,发现桥龄在 50~60 年的钢筋混凝土桥梁中,27% 的桥梁上部结构至少有一处严重损伤,64% 的桥梁至少有一处重要损伤;30~35 年桥龄的钢筋混凝土桥梁中,13% 至少有一处严重损伤,53% 至少有一处重要损伤。

美国和澳大利亚 50% 的桥梁已经服役超过 50 年。在澳大利亚,仅就加固或更换新南威尔士州的有损害缺陷的桥梁而言,估计迫切需要约 3.5 亿美元。美国 60 万座既有桥梁中,约 125 000 座桥梁结构的承载力不足。美国材料咨询委员会(NMAB)在 1987 年的报告中指出:约 254 000 座混凝土桥梁处于不同程度的损伤状态,且这一数字以每年 35 000 座的速度在增加。美国在 1991 年提交国会的报

告《国家公路和桥梁现状》中指出,每年仅用于维修的费用高达 3000 亿美元。根据美国土木工程学会 2001 年的调查报告,美国国家级桥梁就整体而言已处于 C 级,其中 29% 以上老化,估计在 20 年内,每年要投入 106 亿美元进行治理。90 年代初,美国用于旧建筑物维修加固上的投资占建筑总投资的 50%,英国这一数字为 70%,德国则达到 80%。在发达国家,新建建筑业开始萧条,而维修改造业兴旺发展,美国劳工部曾预言维修改造业将是 21 世纪最受欢迎的九个行业之一。

我国既有桥梁承载力下降的情况也比较严重。其中一部分是旧中国遗留下来的老桥,设计标准低,现在大都表现为承载力不足,加上年代久远,损伤已十分严重;另一部分是由于设计施工不完善以及结构本身的缺陷造成的危桥。在大型水电站、矿山建设中,需要通行运输超大型构件的大吨位车辆,即使近年来修建的桥梁也难以满足使用上的要求。

截至 2008 年底,我国通车的公路总里程为 373.02 万 km,其中二级及以上高等级公路里程 39.97 万 km。在我国通车公路中,公路桥梁达 59.46 万座、2524.70 万延米。其中特大桥梁 1457 座、250.18 万延米,大桥 39 381 座、884.37 万延米。由于建桥时的技术水平限制,我国还有相当一部分桥梁的荷载标准仅为汽-10 级,履带-50 级,甚至低于汽-10 级。我国公路桥梁大部分是新中国成立以后建成的,桥龄一般在 40 年左右,病害问题正在逐步暴露,目前已有一定数量的桥梁发生老化、损坏现象,危桥逐年增多,承载能力明显降低。除按交通部 1972 年和 1982 年版设计标准的荷载设计、建造的桥梁尚能基本满足近期交通要求外,在此之前特别是 20 世纪 50 年代后期和 60 年代建造的一批桥梁大都承载力不足,或是出现了老化、破损、裂缝等现象。截至 2007 年底,全国查出公路危桥 6000 座。此外,不少刚刚投入使用的桥梁也存在程度不同的缺陷。近年发生的多起桥梁事故,如 1999 年的重庆彩虹桥事件、2004 年辽宁招锦大桥的倒塌、2007 年九江大桥船撞事故等都引起了人们广泛的关注。

我国铁路桥梁方面的情况也不容乐观,中国铁道科学研究院在 20 世纪 80 年代曾对我国八大干线(沪杭、浙赣、沪宁、津浦、京广、陇海、京沈和哈大)及其他 35 条干线上的铁道桥梁进行了统计分析,在这些干线上共有 38 314 孔混凝土桥梁,其中解放前建成的有 3524 座。根据 1994 年的铁路秋检统计,我国运营国有铁路有害桥梁 6137 座,占桥梁总数的 18.8%,其中混凝土桥梁为 2675 座。全国每年将大量资金用在铁路桥梁的日常维修、加固和换梁等方面。例如,西安铁路分局仅 1993 年花费在桥梁维修一项上的费用就达到 700 多万元。

近年来,桥梁事故频发、其危害性越来越大,特别是一些大型重要桥梁,不仅仅涉及经济问题,而且也会给社会造成一定的负面影响。许多国家都开始在一些已建和在建的大跨度桥梁上安装健康监测系统。比如美国的 Sunshine Skyway 桥上安装了监测系统,主要采集桥梁的位移、应变等静力数据。挪威在 Skarnsundet 桥

上安装了全自动数据采集系统,可以对风、加速度、倾斜度、温度、应变和位移等进行监测。1998年,中国香港青马桥、汲水门桥和汀汊桥上安装了保证桥梁运营阶段安全的健康监测系统,该系统安装了GPS、风速风向仪、加速度计、位移计、应变计、地震仪、温度计等各类传感器。1999年,意大利Colle Isarco Viaduct桥上建成了健康监测系统,监测结构的变形、位移、评估结构的耐久性。虎门大桥、徐浦大桥、江阴长江大桥、安庆长江大桥、南京长江三桥等都是在施工阶段就开始安装传感器设备,以备运营阶段的安全监测。

在大型桥梁上安装健康监测系统的主要目的是对桥梁结构进行整体行为的实时监测和结构状态的智能化评估。结构经过长期使用或遭遇突发灾害之后,通过测定其关键性能指标,获取反映结构状况的信息,分析其是否受到损伤。如果受到损伤,还要分析其可否继续使用及其剩余寿命等。这对确保桥梁运营安全,及早发现桥梁病害,延长桥梁使用寿命等都起到了积极的作用。桥梁健康监测系统既可以在桥梁建成之后对桥梁结构进行监测和评估,还能通过对测试结果和理论分析结果的对比,验证结构设计理论,进一步发现问题、总结经验,以便为桥梁建设提供实践依据,使桥梁建造技术更加完美。

结构损伤诊断是桥梁健康监测的一个子系统,其主要任务就是通过实际测量的数据,对桥梁结构是否有损伤、损伤种类、损伤位置、损伤程度等作出准确合理的判断。损伤诊断的结果可以为结构局部损伤探测提供大致的位置,也可以在损伤超过规范值时提出预警,还可以为结构可靠性评估提供依据。因此,结构损伤诊断是决定健康监测系统成败的关键所在,本书就是针对结构损伤诊断的相关问题进行研究。下面首先简单介绍模式识别基本理论和桥梁健康检测系统,然后对结构损伤诊断的研究现状作详细的评述。

1.1 模式识别概况

模式识别(pattern recognition)是人类的一项基本智能,在日常生活中,人们经常在进行着“模式识别”。我们能够如此轻易将人脸与名字对应、区分鲤鱼和鲈鱼、阅读手写文字、判断食物的种类,这归功于貌似简单却隐含非常复杂的处理机制的模式识别。为了具有这种能力,我们进化了几千万年,这对于我们的生存来说至关重要。随着20世纪40年代计算机的出现以及50年代人工智能的兴起,人们希望能用计算机来代替或扩展人类的部分脑力劳动,模式识别在20世纪60年代初迅速发展并成为一门新学科,其中模式识别的人工神经网络技术各个领域得到了广泛的应用。

对模式识别研究主要集中在两方面:一是研究生物体(包括人)是如何感知对象的,属于认识科学的范畴;二是在给定的任务下,如何用计算机实现模式识别的

理论和方法。前者是生理学家、心理学家、生物学家和神经生理学家的研究内容；后者通过数学家、信息学专家和计算机科学工作者近几十年来的努力，已经取得了系统的研究成果。

模式识别是指对表征事物或现象的各种形式的信息进行处理和分析，以对事物或现象进行描述、辨认、分类和解释的过程，是信息科学和人工智能的重要组成部分。模式识别又常称作模式分类，从处理问题的性质和解决问题的方法等角度，模式识别可分为有监督的分类(supervised classification)和无监督的分类(unsupervised classification)两种。二者的主要差别在于，各实验样本所属的类别是否预先已知。一般说来，有监督的分类往往需要提供大量已知类别的训练样本，但在实际问题中，这是存在一定困难的，因此研究无监督的分类就显得十分必要了。

模式可分成抽象的和具体的两种形式。前者如意识、思想、议论等，属于概念识别研究的范畴，是人工智能的另一研究分支。本书所指的模式识别主要是对语音波形、地震波、心电图、脑电图、图片、照片、文字、符号、生物传感器等对象的具体模式进行辨识和分类。应用计算机对一组事件或过程进行辨识和分类，所识别的事件或过程可以是文字、声音、图像等具体对象，也可以是状态、程度等抽象对象。这些对象与数字形式的信息相区别，称为模式信息。模式识别所分类的类别数目由特定的识别问题决定。有时，开始时无法得知实际的类别数，需要识别系统反复观测被识别对象以后确定。

模式识别与统计学、心理学、语言学、计算机科学、生物学、控制论等都有关系。它与人工智能、图像处理的研究有交叉关系。例如，自适应或自组织的模式识别系统包含了人工智能的学习机制；人工智能研究的景物理解、自然语言理解也包含模式识别问题。又如模式识别中的预处理和特征抽取环节应用图像处理的技术，图像处理中的图像分析也应用模式识别的技术。

模式识别现在已经发展成为一个比较完整的学科领域。模式识别是多学科领域的交叉，涉及统计学、模糊集论、工程学、人工智能、计算机科学等，现在已经广泛用于文字识别、语音识别、医疗诊断、个人信用评分、商品销售分析、地质勘探等。根据设计分类器的不同，出现了许多模式识别方法。模式识别的具体方法有统计模式识别、模糊模式识别、句法模式识别、智能模式识别、人工神经网络技术等。

1) 统计模式识别。统计模式识别又称决策理论方法，是发展较早也比较成熟的一种方法。首先将被识别对象数字化，变换为适于计算机处理的数字信息。一个模式常常要用很大的信息量来表示。许多模式识别系统在数字化环节之后还进行预处理，用于除去混入的干扰信息并减少某些变形和失真。随后是进行特征抽取，即从数字化后或预处理后的输入模式中抽取一组特征。所谓特征是选定的一种度量，它对于一般的变形和失真保持不变或几乎不变，并且只含尽可能少的冗余信息。特征抽取过程将输入模式从对象空间映射到特征空间。这时，模式可用特

征空间中的一个点或一个特征矢量表示。这种映射不仅压缩了信息量,而且易于分类。在决策理论方法中,特征抽取占有重要的地位,但尚无通用的理论指导,只能通过分析具体识别对象决定选取何种特征。特征抽取后可进行分类,即从特征空间再映射到决策空间。在此引入鉴别函数,由特征矢量计算出相应于各类别的鉴别函数值,通过鉴别函数值的比较实行分类。

2) 句法模式识别。句法模式识别又称结构方法或语言学方法。其基本思想是把一个模式描述为较简单的子模式的组合,子模式又可描述为更简单的子模式的组合,最终得到一个树形的结构描述,在底层的最简单的子模式称为模式基元。在句法方法中选取基元的问题相当于在决策理论方法中选取特征的问题。通常要求所选的基元能对模式提供一个紧凑的反映其结构关系的描述,又要易于用非句法方法加以抽取。显然,基元本身不应该含有重要的结构信息。模式以一组基元和它们的组合关系来描述,称为模式描述语句,这相当于在语言中,句子和短语用词组合,词用字符组合一样。基元组合成模式的规则,由所谓语法来指定。一旦基元被鉴别,识别过程可通过句法分析进行,即分析给定的模式语句是否符合指定的语法,满足某类语法的即被分入该类。

3) 人工神经网络技术。人工神经网络是由大量简单的基本单元——神经元相互连接而构成的非线性动态系统,每个神经元的结构和功能比较简单,而由其组成的系统却可以非常复杂,具有生物神经网络的某些特性,在自组织、联想及容错方面具有较强的能力,能用于联想、识别和决策。人工神经网络方法与前两种方法的最大不同之处在于学习过程中具有自动特征提取的能力,因此对于信息复杂、没有进行精细数据加工的模式同样适用,当然这是以增加学习时间和增大网络规模为代价的。

模式识别方法的选择取决于问题的性质。如果被识别的对象极为复杂,而且包含丰富的结构信息,一般采用句法方法;被识别对象不很复杂或不含明显的结构信息,一般采用决策理论方法。这两种方法不能截然分开,在句法方法中,基元本身就是用决策理论方法抽取的。在应用中,将这两种方法结合起来分别施加于不同的层次,常能收到较好的效果。

模式识别系统及其识别原理可用图 1-1 表示,该系统包括特征提取、特征选择、学习和训练、分类识别四个模块^[1]:

1) 特征提取。特征是模式识别的基石,是描述模式的度量。特征从形式上可以分为物理特征、结构特征、数字特征三类。无论是模式识别过程还是学习过程,都要对研究对象固有的、本质的及重要的特征或属性进行量测并将结果数值化,或将对象分解并符号化,形成特征矢量或符号串、关系图,从而产生代表对象的模式,模式类中的个体在有些场合中也称为样本。特征提取的目标就是从所研究对象的不同角度、不同层次进行本质要素的抽取,以组成样本序列为后续的学习和训练、

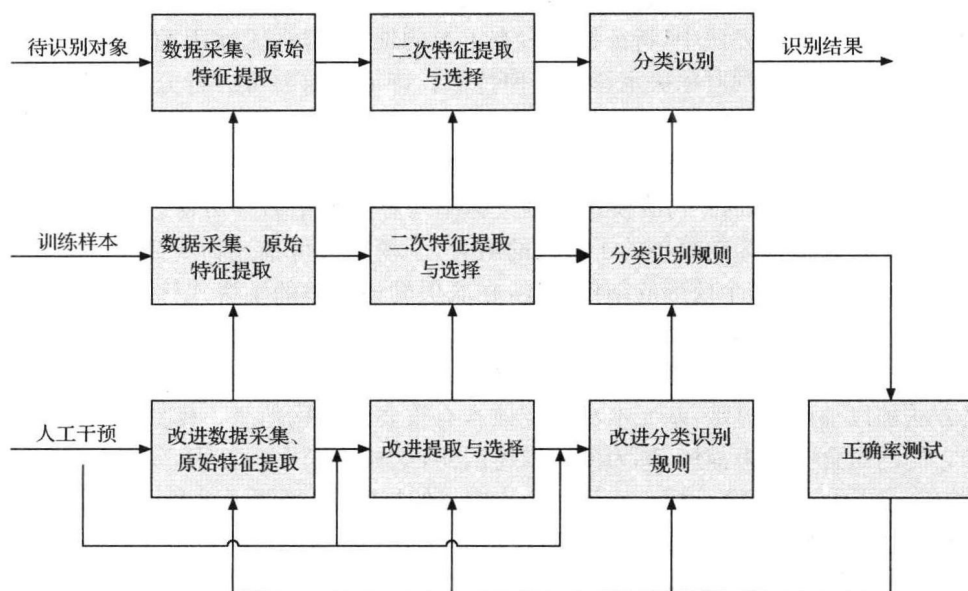


图 1-1 模式识别系统

模式识别提供原材料。

2) 特征选择。特征选择是指从一组特征中挑出对分类最有利的特征、达到降低特征空间维数的目的。通常能描述对象的元素很多,为了节约资源,节省计算机存储空间、计算机时、特征提取的费用,有时更是为了可行性,在满足分类识别正确率要求的条件下按某种准则尽量选用对正确分类识别作用较大的特征,使得用较少的特征就能完成分类识别任务。

3) 学习和训练。为让模式识别系统具有分类识别功能,如同人类自身一样,人们应首先对它进行训练,将人类的识别知识和方法以及关于分类识别对象的知识输入机器中,产生分类识别的规则和分析程序。这也相当于机器进行学习。这个过程一般要反复进行多次,不断地修正错误、改进不足,这包括修正特征提取方法、特征选择方案、判决规则方法及参数,最后使系统正确识别率达到设计要求。目前,机器的学习需要人工干预,这个过程通常是人机交互的。

4) 分类识别。在学习、训练之后,所产生的分类规则及程序用于未知对象的识别。需要指出的是,输入机器的知识和方法以及有关对象知识越充分,这个系统的识别功能就越强、正确率就越高,有些分类过程(如聚类分析)似乎没有将有关对象的知识输入,实际上我们在选择距离测度、在采用某种聚类方法时,已经用到了对象的一些知识,也在一定程度上加入了人类的知识。

模式识别是人工智能的基础技术,21 世纪是智能化、信息化、计算化、网络化

的世纪,在这个以数字计算为特征的世纪里,作为人工智能技术基础学科的模式识别,必将获得巨大的发展空间。在国际上,各大权威研究机构、各大公司都纷纷开始将模式识别技术作为公司的战略研发重点加以重视。模式识别可用于文字和语音识别、遥感和医学诊断等方面^[2~8]。

1) 文字识别。汉字已有数千年的历史,也是世界上使用人数最多的文字。在信息技术及计算机技术日益普及的今天,如何将汉字方便、快速地输入到计算机中已成为影响人机接口效率的一个重要瓶颈,也关系到计算机能否真正在我国得到普及。目前,汉字输入主要分为人工键盘输入和机器自动识别输入两种。其中人工键入速度慢而且劳动强度大;自动输入又分为汉字识别输入及语音识别输入。从识别技术的难度来说,手写体识别的难度高于印刷体识别,而在手写体识别中,脱机手写体的难度又远远超过了联机手写体识别。

2) 语音识别。语音识别技术所涉及的领域包括信号处理、模式识别、概率论和信息论、发声机理和听觉机理、人工智能等。近年来,在生物识别技术领域中,语音识别技术以其独特的方便性、经济性和准确性等优势受到世人瞩目,并日益成为人们日常生活和工作中重要且普及的工具。而且利用基因算法训练连续隐马尔柯夫模型的语音识别方法现已成为语音识别的主流技术,该方法在语音识别时识别速度较快,也有较高的识别率。

3) 指纹识别。我们手掌及其手指、脚、脚趾内侧表面的皮肤凹凸不平产生的纹路会形成各种各样的图案,而这些皮肤的纹路在图案、断点和交叉点上每个人各不相同,是唯一的。依靠这种唯一性,就可以将一个人同他的指纹对应起来,通过比较他的指纹和预先保存的指纹,便可以验证他的真实身份。一般的指纹分成以下几个大的类别,即环型、螺旋型、弓型,这样就可以将每个人的指纹分别归类,进行检索。

4) 生物认证技术。生物认证技术(Biometrics)是 21 世纪最受关注的安全认证技术,它的发展是大势所趋。人们愿意忘掉所有的密码、扔掉所有的磁卡,凭借自身的唯一性来标识身份与保密。国际数据集团(IDC)预测:作为未来的必然发展方向的移动电子商务基础核心技术的生物识别技术在未来 10 年的时间里将达到 100 亿美元的市场规模。

5) 数字水印技术。20 世纪 90 年代以来才在国际上开始发展起来的数字水印技术(digital watermarking)是最具发展潜力与优势的数字媒体版权保护技术。IDC 预测,数字水印技术在未来的 5 年内全球市场容量超过 80 亿美元。数字水印技术将内容的创造者、购买者等标识信息直接隐藏在载体中,其目标是载体被修改或伪造后,用模式识别也能进行判断,应有较低的误检率。

6) 遥感图像及医学诊断。遥感图像识别已广泛用于农作物估产、资源勘察、气象预报和军事侦察等。在癌细胞检测、X 射线照片分析、血液化验、染色体分析、

心电图诊断和脑电图诊断等方面,模式识别已取得了一定的成效。

模式识别从 20 世纪 20 年代发展至今,人们的一种普遍看法是不存在对所有模式识别问题都适用的单一模型和解决识别问题的单一技术。我们现在拥有的只是一个工具袋,所要做的是结合具体问题把统计的和句法的识别结合起来;把统计模式识别或句法模式识别与人工智能中的启发式搜索结合起来;把统计模式识别或句法模式识别与支持向量机的机器学习结合起来;把人工神经网络与各种已有技术以及人工智能中的专家系统、不确定推理方法结合起来,深入掌握各种工具的效能和应有的可能性,互相取长补短,开创模式识别应用的新局面。

1.2 桥梁健康监测系統概况

桥梁健康监测系統是集结构监测、环境监测、交通监测、设备监测、损伤诊断、结构评估、损伤预警和桥梁养护管理等各功能子系统于一体的大型综合系統。20 世纪 80 年代中后期,欧美一些国家首先明确地提出了结构健康监测的新理念,并先后在一些重要的大跨度桥梁或结构体系新颖的桥梁上安装了健康监测系統。到了 90 年代,亚洲一些国家如日本、韩国等开始研究并在一些大型桥梁上安装健康监测系統。随着经济社会的发展,人们对防灾减灾的日益重视,大型桥梁结构健康监测迅速成为国际上研究的热点问题之一。理想的桥梁健康监测系統应该具备以下几个特点^[9~12]。

1) 能够在结构损伤出现的早期发现损伤,以便在结构严重损坏之前及时预警,提醒管理者进行维修或采取措施避免车毁人亡事故的发生,这就要求损伤评估具备实时性。健康监测的实时性不但要求在有交通条件下能够进行损伤诊断,还要求各个传感器的数据采集和传输能够做到“同步”。

2) 健康监测系統应该具备自动化的特性,它包括数据采集、预处理、损伤分析、损伤预警、评估报告等都要实现无人化。这样既可以节约人力,又可以提高效率,便于进行桥梁结构的智能诊断与评估。

3) 完整的健康监测系統需要采集的数据种类繁多、数据量大,需要一个专门的数据库管理中心,使各个模块能够实现数据共享,即要求系統具备集成化的特点。

4) 实际工程中一个控制中心有时需要管理多个大型桥梁,因此需要健康监测系統具备远程访问的功能,实现网络化。并且在桥梁结构状态出现异常时,专家也需要通过远程访问获得监测数据以对桥梁状况作出评判。

桥梁结构具有尺寸大、质量重,较低的自振频率和振动水平,而且结构的响应极容易受到环境因素以及非结构构件等的影响,实际结构的不确定性水平比单个构件或比例模型要高得多。这些实际的工程条件使结构建模(很难准确模拟实际