

文章编号: 1002-0411(2004)01-0061-06

# 模糊信息优化处理技术应用简介

黄崇福, 张俊香, 刘 静

(北京师范大学资源科学研究所, 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘 要: 本文介绍了模糊信息优化处理技术在人工神经网络、大地测量数据处理、风险分析、评估体系等四个方面的应用情况, 并对该领域在基础理论、实用方法、商业应用等三个方面的发展进行了简短的讨论.\*

关键词: 模糊信息; 信息分配; 信息扩散

中图分类号: TP13

文献标识码: B

## Applications of Fuzzy Information Optimization Technology

HUANG Chong-fu, ZHANG Jun-xiang, LIU Jing

(Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China,  
Institute of Resource Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** In this paper, we review the applications of fuzzy information optimization processing technology in neural networks, surveying, risk analysis, and assessment. The ways to promote this study in basic theory, practical methods, and commercial application are also discussed.

**Keywords:** fuzzy information; information distribution; information diffusion

### 1 模糊信息优化处理技术概述 (Outline of technology of fuzzy information optimization processing)

信息科学以信息为主要研究对象, 包括: 阐明信息的概念和本质; 探讨信息的度量 and 变换; 研究信息的提取方法; 澄清信息的传递规律; 探明信息的处理机制; 探究信息的再生理论; 阐明信息的调节原则; 完善信息的组织理论。

信息是客观事物的存在方式和运动状态的反映。这种反映通常是通过一定的物质或能量的形式表现出来, 并直接或间接地能为人们的感官所感受。如果人们所感受的信息不能够清楚地反映客观事物的存在方式或运动状态, 这种信息就叫模糊信息。在扎德提出模糊集理论之前, 人们通常采用某种清晰化的方式处理模糊概念。例如, 对于一条信息“火车站候车室里年轻人较多”, 如果将“年轻人”定义为 18 岁到 30 岁的人, 将“居多”定义为占总人数的 60% 到 80%, 则对所给的模糊信息可以进行清晰化。模糊集理论帮助人们认识到, 用人为清晰化的方法会丢失一些信息, 不利于人们对客观事物的认识,

用模糊集方法处理模糊信息, 更为合理。

传统的模糊信息处理方法所关注的是如何把工程实际中的模糊概念依靠专家的经验进行量化, 以便构造某种数学模型。由于专家们的背景不同, 对同一批资料进行处理, 往往会得出差异颇大的结果。这显然不能满足工程实际的需要, 也不符合“科学实验的结果应具有可重复性”的基本原理。

模糊信息优化处理的对象是不完备信息, 主要是小样本提供的模糊信息(仅仅依靠它们, 我们不可能清楚地认识有关的统计规律), 主要的依据是信息扩散原理<sup>[1]</sup>。简单地讲, 信息扩散就是将一个传统的数据样本点变成一个模糊集合。信息扩散原理是一个断言: 假设给定了一个知识样本, 用它估计一个关系。直接使用该样本得出来的结果称为非扩散估计。当且仅当该样本不完备时, 一定存在一个适当的扩散函数和一个相应的算法, 使得扩散估计比非扩散估计更靠近真实关系。已经证明<sup>[2-4]</sup>, 这一原理至少对于概率密度函数(它是事件和概率的一种关系)的估计是成立的。有趣的是, 对于概率密度函数的估计而言, 信息扩散估计和传统的 Parzen 核估计<sup>[5]</sup>有异曲同工之妙。但是, 在信息扩散原理提

\* 收稿日期: 2002-12-24  
基金项目: 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目

出来之前,核函数的物理意义并不清楚.信息扩散原理的提出,揭开了核估计的面纱:核函数的物理意义是通过集值化的手段填补样本点之间的空隙.只有当所给样本不完备时,这种填补才有意义.

由于信息扩散的目的是挖掘出尽可能多的有用信息,提高系统识别的精度,这种技术,就被称为模糊信息优化处理技术.最简单的方法是信息分配方法,最简单的扩散函数是正态扩散函数<sup>[6]</sup>.

## 2 模糊信息优化处理技术在人工神经网络中的应用 (Applications of fuzzy information optimization processing technology in neural networks)

早在1991年,石成钢、刘西拉<sup>[7]</sup>就将信息分配方法用于反向传播(BP)学习算法网络,做了很好的尝试.不过,由于该文提供的模型与首选样本的关系过于密切,进一步深入的研究遇到了困难.1998年,王蕴红等<sup>[8]</sup>提出了基于信息扩散原理的径向基函数(RBF)网络理念,从信息扩散的角度对RBF网络进行了分析.从理论上证明了RBF网络具有信息扩散功能,并分析了其网络的物理意义.说明了根据正态扩散的择近原则确定RBF网络中规划因子的合理性,也说明了在训练样本数目大时用聚类方法确定中心参数的优越性.实验结果证明,这种方法设计的RBF网络分类器性能优于一般RBF网络分类器.郝哲等<sup>[9]</sup>将信息扩散方法用于BP型神经网络并引入到岩体注浆实践中,对注浆物理量之间的关系进行训练及预测,提高了网络的运算精度.1999年,黄安雅等<sup>[10]</sup>运用信息扩散方法对某液压系统的振动参数进行信息扩散,得到7组典型状态样本,训练神经网络,克服了大样本的矛盾性及学习时间长的缺点,构造了能对系统状态进行有效诊断的网络.2000年,古德生、周科平<sup>[11]</sup>应用信息扩散原理处理采矿方法选择中存在的知识不完备性问题,结合运用人工神经元网络选择地下采矿方法,取得了令人满意的结果.同年,郭宗楼、申玮<sup>[12]</sup>通过将信息扩散原理和落影技术结合,形成信息扩散式落影,并与因素状BP网络有机结合,对丹江口水库的水质进行了预测,获得了令人满意的结果.

## 3 模糊信息优化处理技术在测绘领域中的应用 (Applications of fuzzy information optimization processing technology in surveying and mapping)

1999年,王新洲<sup>[13]</sup>将信息扩散原理引入了测绘领域,对大地测量数据进行处理,基于信息扩散原理建立了一种估计理论和方法,并对其抗差性进行了研究.他认为,信息扩散估计是一种智能估计,即当观测值中不含粗差(错误或异常值)时,估计结果与最小二乘估计一样,是最优无偏估计;当观测值中含有粗差时,该估计不仅能很好地抵御粗差的影响,而且不要迭代,比现有的稳健估计方法都好.2000年,王新洲<sup>[14]</sup>根据水准测量的特点,将一维参数信息扩散技术巧妙地推广到水准网平差这一多维参数估计中,部分地解决了信息扩散估计技术在测量数据处理中的应用问题.

模糊信息优化处理技术支持王新洲主持完成了的国家自然科学基金项目“信息扩散原理在测量数据处理中的应用研究”(1999年1月至2001年12月,批准号:49874002).该项目针对现行的最小二乘估计和各种抗差估计都是先假定观测向量服从某种特定的分布,而事实上由于观测条件千差万别,致使不同的观测向量可能服从不同的分布,基于此,对不同的观测向量,根据信息扩散原理先估计出密度函数,再求其期望值和方差,得到了更符合实际、精度更高的估计结果.

## 4 模糊信息优化处理技术在风险分析中的应用 (Applications of fuzzy information optimization processing technology in risk analysis)

正是研究复杂的自然灾害风险系统的需要产生了模糊信息优化处理技术.早在1985年,黄崇福、刘贞荣<sup>[15]</sup>就用信息分配方法研究了震害面积的估计问题,首次证明了在地质构造比较复杂的地区,震级和震害面积的对数值并不是线性关系.同年,王家鼎<sup>[16]</sup>用信息分配法建立了一种砂土震动液化势评价方法,并于1988年完成了我国与欧共体国际合作项目中的《兰州市综合地质灾害分区图》的编制工作<sup>[6]</sup>.1990年8月11日,甘肃天水的椒树湾、泰山庙斜坡在暴雨的触发下出现滑坡险情,王家鼎等工程地质专家,采用模糊信息优化处理技术,准确地预报了滑坡的发展趋势,建议当地政府采取了一系列减弱滑坡程度的工程措施,仅搬迁费一项就节约了4000多万元<sup>[17]</sup>.1999年,陆余楚等<sup>[18]</sup>提出了一个非线性信息分配公式,并将其用于美国友邦保险公司人寿保险委托项目“上海市富裕性疾病发病率”研究.2000年,尚汉冀等<sup>[19]</sup>提出了一个2维信息有限

扩散方法,提高了人寿保险精算的精度。由于他们借助了 Matlab 软件对信息扩散的有关参数进行优化,其结果要优于一般的信息扩散方法。冯利华<sup>[20]</sup>利用基于信息扩散理论的风险分析方法,对气象要素进行了风险分析,得出了意义清楚的分析结果,对防灾减灾具有一定的指导作用。同年,唐彤芝、李泽崇<sup>[21]</sup>用信息分配法成功地建立了大坝沉降变形的模糊信息分析法,并对万安溪面板坝的沉降进行了分析,验证了该方法的正确性和合理性。2002年,黄崇福<sup>[22]</sup>用基于信息分配的内集—外集模型计算出的水灾模糊风险对减灾方案进行筛选,得出了合理的结果。

应用模糊信息优化处理技术,黄崇福主持完成了国家自然科学基金项目“不完备信息条件下的自然灾害风险评估理论和方法”(1996年1月至1998年12月,批准号:49571001)。该项目全面研究了孕灾环境、致灾因子、承灾体及历史灾情中不完备信息的种类、特点和模糊特性,提出了自然灾害模糊风险的概念,对其特性和计算方法进行了初步的研究。该项目进一步完善了信息扩散原理,在其基础上建立了不完备信息条件下进行自然灾害风险评估的理论体系。该项目分别以城市地震灾害风险、湖南省农业自然灾害风险评估为例,对复杂的自然灾害风险系统和简单历史灾情统计风险系统进行了研究,给出了不完备信息条件下进行风险评估的计算方法。

随后,应用这种技术,黄崇福主持完成了另一个国家自然科学基金项目“区域自然灾害模糊风险算法及其在减灾方案筛选中的应用”(2000年1月至2002年12月,批准号:49971001)。该项目全面研究了自然灾害风险分析的基本内容,形成了以自然灾害风险分析基本原理为核心,以模糊系统识别理论和方法为工具的自然灾害风险分析系统理论和方法。首次提出了可以避开十分复杂的 $\alpha$ 截集计算、直接求出模糊期望清晰数的二次重心法,并通过计算机仿真实验,全面证明了模糊风险算法“内集—外集模型”的可靠性。实验证明,信息分配方法可以提高风险评估工作效率28%,而且用内集—外集模型计算出来的自然灾害模糊风险能对减灾方案进行合理的筛选,从而验证了模糊系统识别方法在提高风险识别精度和为筛选减灾方案提供更多信息方面的优势。此外,该项目还提出了“信息矩阵”、“模糊集等效长度”、“模糊直方图”等3个重要概念,建议了一个构筑智能化信息处理系统的框架,并对地震灾害风险因素和风险评估指标、地层岩性、深度、厚度等因

素与震害程度之间的模糊关系、风险控制适合度函数等内容进行了研究。通过该项目的研究,形成了由信息矩阵结构、信息扩散技术和内集—外集模型组成的自然灾害模糊风险计算理论和实用方法体系。该项研究为产生新一代自然灾害风险区划理论打下了重要基础。

## 5 模糊信息优化处理技术在评估体系中的应用 (Applications of fuzzy information optimization processing technology in assessments)

1996年,胡颖等<sup>[23]</sup>将信息分配方法引入投标报价的研究,提出了一种能提高中标概率精度的估计方法。1997年,徐勇等<sup>[24]</sup>将模糊信息优化处理技术用于电子系统高功率微波(HPM)效应评估,建立了以效应实验数据为基础预测 HPM 效应敏感度概率分布曲线和系统失效阈值与 HPM 参数之间关系的模糊数学计算模型,编制了模拟计算程序,并对一些实例作了分析计算。1998年,金振林等<sup>[25]</sup>根据信息扩散原理,应用一维线性信息分配函数处理刀具耐用度试验样本点数据,对刀具耐用度的分布进行了合理准确的估计。1999年,赵宏宇等<sup>[26]</sup>将信息分配方法用于深小孔钻削过程钻头状态在线估计。由于采点少、速度快、估计准确,从而保证了生产效率高又不使钻头折断。2000年,刘悦、王家鼎<sup>[27]</sup>利用信息扩散原理建立了一种黄土湿陷性的评价方法。通过对10组黄土湿陷资料的非母体验证,均方误差达到0.005,结果较为理想。该方法简单、实用,适用于区域性的防灾规划和工程初勘。

## 6 模糊信息优化处理技术在国内外的影响 (Influence of fuzzy information optimization processing technology at home and abroad)

以“信息分配”和“信息扩散”为核心的模糊信息优化处理技术是由中国学者独立提出和发展的一门新兴数据处理技术。在国内的应用已广及气象、人寿保险、采矿、土木工程、测绘、信号处理、决策支持系统、故障诊断、地质灾害、计算机仿真、风险分析等众多领域。本文介绍的内容只是有关材料的一部分。早在1994年,汪培庄教授在《模糊信息优化处理技术及其应用》<sup>[6]</sup>一书序言中就指出:“模糊信息优化处理理论是模糊系统分析理论的一个重要组成部分,其有关方法具有很大的实用性。”

模糊信息优化处理技术的研究在国际上也引起

了国际同行的关注.2000年北美模糊信息处理学会第十九届国际大会设有名为“Diffusion”的分会会场.国外把这种技术看作软计算(Soft Computing)技术.由于不需要专家经验支持,这种技术也被看作是计算智能(Computational Intelligent)技术.2002年德国的斯普林格(Springer)出版社出版了信息扩散的第一本英文专著《用信息扩散原理探讨最佳模糊信息处理方式》<sup>[1]</sup>.

信息扩散技术的发明人黄崇福为此应邀在美国、德国、比利时、日本、香港进行合作研究,被专程邀请到巴黎第6大学、汉堡大学、柏林自由大学、位于法兰克福的本田(Honda)欧洲研究和发展部进行演讲,并担任北美模糊信息处理学会第18、19、22届国际大会的程序委员和第3、4、5届FLINS国际大会的程序委员,担任国际刊物IT&DM的副主编.这种广泛的国际合作关系为信息扩散技术的发展获得国外同行的帮助创造了条件.

## 7 今后工作的一些建议 (Some recommendations for further work)

经过18年(1985年到2002年)的发展,模糊信息优化处理理论和方法的研究方兴未艾,前景十分广阔.下面,针对基础理论、实用方法、商业应用等方面的研究提出一些建议.

### 基础理论:反精确原理 (Basic theory: anti accuracy principle)

20世纪60年代,由于计算机硬件技术的迅速发展,许多科技人员乐观地认为,可以编制出复杂的程序对任何复杂的系统进行任何精度的识别和控制,问题只在于程序开发的成本和计算时间的耗费.70年代末80年代初,人们认识到一个重要的事实:一个程序解决问题的能力极大地依赖于它所拥有的基本数据,而不仅仅是它所采用的数学模型和编程技巧.90年代后期,人们清楚地认识到,用于解决实际问题的计算机程序应该允许不精确的计算.

以往,人们对“不精确”大都处于被动应付的状态.信息扩散原理的提出,改变了这一局面.许多成功的应用实例说明,人们可以主动地将看似精确的基本数据进行模糊化,以弥补信息不足对系统识别和控制的不良影响.信息扩散原理背后的哲学意义可能是某种形式的反精确原理:不完备信息和精确模型是冲突的.人们依据不完备信息对有关系统进行识别和控制时,常常不采用理论上较为精确的方法,而是采用某种较粗糙的方法.例如,大坝计算时

人们惯常采用有限元法而非微分方程;多元回归从理论上来说比一元回归精确,但在统计识别应用中,一元回归的使用率更高;用模糊规则比较容易实现对复杂系统的控制.反精确规则的合理使用,不仅能帮助我们低成本而快速地分析复杂系统,而且有利于避免一味追求精确可能导致的错误.建议通过收集、整理和分析各种常见的反精确现象,并解剖某个重点对象,深入研究信息扩散原理的有关成立条件,寻找信息不完备度和模型粗糙度的某种对应关系,找出反精确的某种规则.如果能找到某种规则,人们就可以有根据地选用理论上并不精确但却能低成本而快速地分析复杂系统的模型,使识别和控制达到更高水平.有关研究成果很可能成为我国科技创新的一个亮点.

### 实用方法:替代专家评估 (Practical method: replace experts for assessing)

“专家系统”是20世纪80年代初人工智能研究得以热门的主要动力之一.当时,许多科技人员乐观地认为,只要能建造功能强大的专家知识库,用日新月异计算机技术支持,有望在短期内实现人工智能的重大突破.80年代末90年代初,人们认识到一个重要的事实:获取专家知识并非易事,要综合众多专家的经验建造能解决实际问题的专家系统就更不容易.随着人工神经网络、遗传算法、数据挖掘等理论和方法的发展,曾经极大依赖专家知识的人工智能的研究倾向才有所改变.通过数据学习知识,并容忍不精确、不确定、部分真实和近似是这些新技术的共同点.

模糊信息优化处理技术同上述新技术有许多共同之处,不需要任何专家经验,仅依赖数据而进行系统的智能化识别.信息扩散与人工神经网络的结合已显示出强大的生命力.人们已可以用基于信息分配法的“内集-外集模型”计算模糊概率从而替代专家评估<sup>[29]</sup>.

建议在人工神经网络、遗传算法、数据挖掘的有关环节使用模糊信息优化处理技术,进一步开发信息扩散模拟人脑联想思维的功能,发展出替代专家评估的实用方法.有关研究成果很可能成为人工智能技术的重要支撑点.

### 商业应用:图像压缩 (Commercial applications: image compression)

最新的研究表明,用信息扩散生成的信息矩阵<sup>[30]</sup>可以产生模糊“IF-THEN”规则,最少实现50%的数据压缩率.与传统图像压缩技术不同的是,

这种新的图像压缩技术的压缩率将与图像的复杂程度无关,在各种情况下都能达到很高的压缩率.如果该技术完全实现自动控制,则可以进行商业化图像压缩.由于互联网传递速度的瓶颈是图像,因此随着互联网的发展,这一技术的市场将十分看好.下面的



图 1 原始图像

Fig.1 Original image



图 2 经过 74% 的压缩后恢复过来的图像

Fig.2 Reconstructed image with compression ratio 74 %

## 8 结论和讨论 (Conclusion and discussion)

模糊信息优化处理的对象是不完备信息,主要的依据是信息扩散原理.在实际工作中,很少情况下信息是完备的,而通常情况下信息都是不完备的.使用模糊信息优化处理技术的目的是更好地估计一个输入输出关系.例如,概率分布是以事件为输入,以概率值为输出的一种特殊输入输出关系.

以“信息分配”和“信息扩散”为核心的模糊信息优化处理技术是由中国学者独立提出和发展的一门新兴数据技术.信息扩散原理的提出,揭开了非参数概率估计中核估计技术的面纱.核函数的物理意义,是通过集值化的手段填补样本点之间的空隙.

模糊信息优化处理技术最成功的应用是在人工神经网络、大地测量数据处理、风险分析、评估体系等四个方面.该项技术一共支持完成了三个国家自然科学基金项目和两个国际合作项目.经过 18 年的发展,该项技术已引起国际同行的关注.国外把这种技术看作软计算技术,也被看作是计算智能技术.

模糊信息优化处理理论的发展有可能确认反精确原理的存在.有关方法可能替代专家评估,而基于信息扩散的图像压缩技术可能有潜在的商业价值.

然而,相比其它成熟的理论和技术来说,模糊信息优化处理理论和方法都还有许多不足.目前发现

图 1 是一张原图,图 2 是经过 74% 的压缩后恢复过来的图.比较它们可以看出,通过信息扩散技术压缩并恢复的图像,失真并不明显.图像处理的许多领域并没有严格要求保真,所以该技术很有发展潜力.

的主要问题是:

- 1) 信息分配函数和信息扩散函数的选取没有科学的指导原则,在实际应用中只能取最简单的函数;
- 2) 信息分配控制点和信息扩散系数的选取尚没有可以推广的优化算法,有时需要反复调试,工作量较大;
- 3) 用“内集—外集模型”计算出的模糊概率,其可能性分布数值从 1 突然跌到 0.5 以下,物理背景不清.

模糊信息优化处理理论和方法都还不成熟,也正因为如此,发展它们才具有强烈的挑战性.希望不久的将来,模糊信息优化处理技术能成为人们处理不完备信息的重要工具.

## 参 考 文 献 (References)

- [1] Huang C F, Shi Y. Towards Efficient Fuzzy Information Processing - Using the Principle of Information Diffusion [ M ]. Heidelberg : Physica-Verlag ( Springer ), 2002 .
- [2] Huang C F. Principle of information diffusion [ J ]. Fuzzy Sets and Systems , 1997 , 91(1) : 69 ~ 90 .
- [3] Huang C F. Deriving samples from incomplete data [ A ]. Proceedings of 1998 IEEE International Conference on Fuzzy Systems [ C ]. Anchorage , Alaska : ALTEC , 1998 . 645 ~ 650 .
- [4] Huang C F. Demonstration of benefit of information distribution

- for probability estimation [ J ]. *Signal Processing*, 2000, 80(4) : 1037 ~ 1048 .
- [ 5 ] Parzen E. On estimation of a probability density function and mode [ J ]. *Annals of Mathematical Statistics*, 1962, 33 : 1065 ~ 1076 .
- [ 6 ] 黄崇福,王家鼎. 模糊信息优化处理技术及其应用 [ M ]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1995 .
- [ 7 ] 石成钢,刘西拉. 人工神经网络在震害预测中的应用 [ J ]. *地震工程与工程振动*, 1991, 11(2) : 39 ~ 47 .
- [ 8 ] 王蕴红,刘国岁,王一丁. 基于信息扩散原理的 RBF 网络的分析与设计 [ J ]. *红外与毫米波学报*, 1998, 17(2) : 117 ~ 123 .
- [ 9 ] 郝哲,刘斌,何修仁,等. 人工神经网络在岩体注浆工程中的应用 [ J ]. *有色矿冶*, 1998, 14(5) : 1 ~ 5 .
- [ 10 ] 黄安雅,陈兆能,朱继梅. 模糊信息处理技术在故障诊断中的应用 [ J ]. *传动技术*, 1999, 99(1) : 10 ~ 17 .
- [ 11 ] 古德生,周科平. 信息扩散原理及神经网络在采矿方法选择中的应用 [ J ]. *中国矿业*, 2000, (4) : 82 ~ 86 .
- [ 12 ] 郭宗楼,申玮. 水质预测的因素状态网络模型研究 [ J ]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2000, 26(4) : 361 ~ 364 .
- [ 13 ] 王新洲. 基于信息扩散原理的估计理论、方法及其抗差性 [ J ]. *武汉测绘科技大学学报*, 1999, 24(3) : 240 ~ 244 .
- [ 14 ] 王新洲. 用信息扩散估计进行水准网平差 [ J ]. *武汉测绘科技大学学报*, 2000, 25(5) : 405 ~ 408 .
- [ 15 ] Huang C F, Liu Z R. Iseismic area estimation of Yunnan province by fuzzy mathematical method [ A ]. Fen D Y, Liu X H. *Fuzzy Mathematics in Earthquake Researches* [ C ]. Beijing : Seismological Press, 1985. 185 ~ 195 .
- [ 16 ] 王家鼎. 砂土震动液化势评价中的模糊数学方法 [ J ]. *西北地震学报*, 1985, 7(3) : 35 - 48 .
- [ 17 ] 王家鼎. 模糊信息处理技术在自然灾害预报与防治中的应用 [ N ]. *科技日报*, 1996 年 3 月 6 日第 7 版 .
- [ 18 ] Lu Y C, Shang H J, Xu X M, *et al.* Risk analysis and evaluation of some diseases (II) [ A ]. *Proceedings of the 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society* [ C ]. New York : NAFIPS, 1999. 308 ~ 312 .
- [ 19 ] Shang H J, Lu Y C, Ye S. A 2-D information diffusion method with optimum parameters [ A ]. *Proceedings of the 19th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society* [ C ]. Atlanta : NAFIPS, 2000. 168 ~ 172 .
- [ 20 ] 冯利华. 基于信息扩散理论的气象要素风险分析 [ J ]. *气象科技*, 2000, 28(1) : 27 ~ 29 .
- [ 21 ] 唐彤芝,李泽崇. 大坝运行期沉降变形的模糊信息分析 [ J ]. *水利水运科学研究*, 2000, 22(2) : 21 ~ 25 .
- [ 22 ] Huang C F. An application of calculated fuzzy risk [ J ]. *Information Sciences*, 2002, 142(1) : 37 ~ 56 .
- [ 23 ] 胡颖,肖焕雄,传克斌. 小样本容量中标概率的估计 [ J ]. *基建优化*, 1996, 17(4) : 16 ~ 18 .
- [ 24 ] 徐勇,丁武,杜祥琬. 电子系统 HPM 效应敏感度评估新方法 [ J ]. *强激光与粒子束*, 1997, 9(4) : 568 ~ 572 .
- [ 25 ] 金振林,杨志学,兆彦,等. 刀具耐用度分布试验研究中的数据优化处理 [ J ]. *燕山大学学报*, 1998, 22(2) : 136 ~ 137 .
- [ 26 ] 赵宏宇,王楠,赵凤桐. 采用信息模糊分配提高估计精度 [ J ]. *吉林工学院学报(自然科学版)*, 1999, 20(3) : 17 ~ 20 .
- [ 27 ] 刘悦,王家鼎. 黄土湿陷性评价中的模糊信息优化处理方法 [ J ]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2000, 30(1) : 78 ~ 82 .
- [ 28 ] Huang C F. Information diffusion techniques & small sample problem [ J ]. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 2002, 1(2) : 229 ~ 249 .
- [ 29 ] Huang C F, Moraga C, Yuan X G. Calculation vs. subjective assessment with respect to fuzzy probability [ A ]. Reusch B. *Computational Intelligence Theory and Applications (Proceedings of the 7th International Fuzzy Days Conference)* [ C ]. Heidelberg : Springer, 2001. 393 ~ 411 .
- [ 30 ] Huang C F. Information matrix and application [ J ]. *International Journal of General Systems*, 2001, 30(6) : 603 ~ 622 .

## 作者简介

黄崇福(1958 - ),男,博士,教授,博士生导师.研究领域为自然灾害风险分析,系统模式识别,模糊信息处理.

张俊香(1975 - ),女,博士研究生.研究领域为自然地理和模糊信息处理.

刘静(1979 - ),女,硕士研究生.研究领域为安全信息管理系统和反精确现象.