

·研究简报·

(23)

# 小波分析的一些有前景的应用领域

121-125

李建平<sup>1</sup> 张万萍<sup>2</sup> 陈廷槐<sup>3</sup> 徐问之<sup>3</sup>

(1 后勤工程学院一室, 重庆, 400016; 2 电子科技大学; 3 重庆大学计算机研究所)

0174.22  
TN911.7

**摘要** 本文分析了小波分析一些有前景的应用领域, 对小波分析在活动图像压缩中的应用作了深入讨论, 并对小波分析的未来发展作了预测。

**关键词** 前景; 应用领域 / 小波分析  
**中国图书资料分类法分类号** O174.2

活动图像压缩, 远景应用, 信号处理

## 1 小波分析的真正高潮尚未到来

小波分析从诞生到现在不过十年时间, 但已取得巨大的发展, 在诸如信号信息处理、图像处理、语音分割与合成、ICT、CT、机器视觉、故障诊断、流体力学、雷达分析等众多领域取得很好的应用效果, 形成一次又一次研究热潮, 正在世界上带来一场局部化革命。目前世界范围内研究小波人数之多实属罕见, 故有人戏称小波正演变为一场“大波”。专家预言小波分析的真正高潮尚未到来, 主要原因是: 1) 小波理论尚不完善, 除一维小波理论比较成熟外, 高维小波、向量小波的理论还远非人们所期待的那样, 特别是研究各类小波<sup>[1]</sup>, 如正交小波、双正交小波及向量小波、连续小波、二进小波、离散小波以及非交换域上正交小波的构造和基本性质; 2) 最优小波基的选取方法研究。现在国内外已有一些好基选取方法<sup>[2,3]</sup>, 但缺乏系统规范的最佳小波基的选取方法, 即针对不同的问题能最优地选择不同的小波基以实现最好的应用效果。但不存在一种小波基能适应所有的情况, 如果存在, 这种小波基也是没有什么作用的。因此, 小波基的优化选择始终是小波理论研究的重要内容; 3) 小波分析的应用范围虽然很宽广, 但真正取得极佳应用效果的领域并不多, 人们正在挖掘有前景的应用领域; 4) 目前小波分析软件远不如有限差分方法(FDM)、有限元方法(FEM)、边界元方法(BEM)等软件成熟和完善, 更无大型系统权威的小波分析软件, 作为商品的小波分析软件尚很不成熟; 5) 小波分析在数据图像压缩<sup>[4]</sup>方面已取得很好的成绩, 人们期待用小波方向实现高压缩比、高重现度图像的压缩, 并探索在图像的边缘检测、分类与描述中的应用; 6) 神经网络与混沌理论相结合的研究是国际上的研究热点之一, 建立在混沌状态下的动态信息处理系统能实现具有实时性、鲁棒性和开放性的柔性智能信息处理, 要求研究神经网络的混沌模型及其非线性动力学行为, 以及基于神经网络的智能信息处理技术, 并将模糊计算、进化计算与神经网络结合进行研究, 要在这方面研究取得突破没有小波理论嵌入看来是很困

· 收文日期 1997-05-29

国家自然科学基金和重庆市中青年科技专家基金资助项目

第一作者: 男, 1964年生, 博士

难的;7)非线性科学正呼唤小波分析的加入,也许非线性小波分析是解决非线性科学问题的奇妙配方。

## 2 小波理论的现有应用领域分析

目前,小波分析的应用范围极广,遍历自然科学、应用科学的许多方面,乃至社会经济领域也见到小波的应用<sup>[5]</sup>,下面仅就小波分析的部分应用领域作一点探讨。

### 2.1 Wavelet-Galerkin 方法<sup>[6]</sup>

Galerkin 方法是传统求解微分方程和积分方程的有效手段,这种方法几乎在任何线性分析的问题中都能达到一定的精度,在天线设计及电波传播的许多问题的计算中,都可用此方法进行求解。随着小波理论的出现,一种新型数值分析——Wavelet Galerkin 方法产生了,这是对 Galerkin 方法的改进和提高,能更加有效地求解微分方程和积分方程,亦能很好地求解线性问题和非线性问题,与此同时也产生了 Wavelet finite element method(小波有限元方法)、Wavelet edge element method(小波边界元方法),极大地丰富了数值分析方法的内容。

### 2.2 流体湍流<sup>[7]</sup>

在实际问题中,常常需要探测、刻划一个信号的不规则部分,许多有趣的物理过程产生不规则的结果,例如,关于高雷诺数的湍流,是一个长期研讨的课题,至今仍没有一个关于其性质及其不规则结构重新综合性理论,而小波变换特别适宜于刻划这种不规则性,并为湍流研究提供了新的工具。

### 2.3 数据图像压缩

数据压缩(如地震数据压缩)是伴随小波分析诞生的最早应用领域,由此带来巨大的经济效益和社会效益,如美国耶鲁大学以 R. Coifman 教授等人为代表的小波研究组用小波分析对美国联邦调查局存贮的三亿个指纹进行数据压缩,取得了二十倍有效益的成果,单单因为节省存贮光盘而获得的效益便是三千万美元之巨,而由于指纹传输时间缩短为原来的二十分之一所创造的价值更是无法估量。此后,小波用于图像压缩与边缘检测一直是国内外科技工作者乐此不疲的热点。

### 2.4 语音分析与处理

小波理论应用于语音分析与处理的主要内容包括:1)清/浊音分割;2)基音检测与声门开启时刻定位;3)去噪、重建与数据压缩等几方面,国内外研究表明,小波应用于语音信号特征提取、事件检测、语音增加、语音合成、波形编码等方面已取得很好的成果,充分显示了小波分析的优良性能。

### 2.5 工业 CT( ICT)

工业 CT 远比医学 CT 复杂,医学 CT 的对象始终是人,医学工作者对人的研究已有很长时间了,而工业 CT 的对象千变万化、多种多样,这些对象来自工业、国防、邮电通信等行业的大小不一、结构异样的部件。重庆大学 ICT 中心是全国最早也是展开研究最好的工业 CT 中心,卷积反投影方法是 ICT 经常采用的一种关键技术,将小波分析用于卷积反投影方法已成功开辟了一条崭新的技术路线。

## 3 小波分析应用时存在的问题

小波分析带来的局部化革命已对许多学科产生多方面的影响,无论是古老的自然科学,

还是新兴的高技术应用科学都受到小波分析的强烈冲击,对此应冷静地、辩证地看待。在小波理论应用时,常是将小波作为一种基与被分析的函数或信号作内积来展开的,事实上仅仅将小波作为一种基展开是不够的,还应考虑基前的预处理和基后的善后处理,考虑与其它方法的结合,任何以为小波分析能处理所有问题、能代替 Fourier 分析的想法都是不妥的,小波分析的思想和小波基的存在性证明均来自 Fourier 分析,故小波分析在超越 Fourier 分析的同时应与 Fourier 分析相互补充螺旋式向前发展。

## 4 小波分析一些有前景的应用领域

### 4.1 低速率活动图像压缩

文献[1]提出的 1997 年高技术新概念、新构思、新探索课题以新颖性、创造性和探索性为前景,其主要范围包括:1)根据国家高技术研究发展计划目标,开展科学思想独特、新颖的研究探索,为高技术计划目标的实现,提供新理论和新技术途径,这类课题一经突破,有可能列入 863 计划;2)根据国家高技术研究长远发展方向,跟踪世界科学前沿,进行新的理论探索,为 2000 年以后的高技术研究发展提供科学储备;3)服务于国家高技术研究发展计划目标,能支持和促进有关主导领域的学科发展,但尚不具备条件在高技术计划中安排的基础性课题。“低速率活动图像压缩”正是符合上述要求处于高技术探索第十七主题第 19 项重点课题,笔者对此课题进行深入分析和充分论证后提出了“面向网络的低速率活动图像压缩的非线性小波并行算法<sup>[9]</sup>”。

图像压缩技术在通信、介质存贮、数据发行等领域发挥了重要作用,因此一直是信息技术中最为活跃的领域之一,尤其是在 90 年代,电子技术和通信技术的发展已经使可视电话、会议电视、数字电视、高清晰度电视(HDTV)、多媒体计算机、信息高速公路等的建立变得十分迫切且成为可能,我国的教育与科研网(CERNET)等的建立就说明了这一点。因此探索更有效的图像压缩方法就成了关键的任务之一。图像压缩自然成为国际公认的研究热点之一,于是就有 JPEG、MPEG-1、MPEG-2 等国际标准和即将于 1998 年 11 月推出的 MPEG-4 标准。

笔者于 1995、1996 年分二次通过中文科技文献数据库、美国工程索引(EI)、国际联机等检索手段查出小波文献 600 多篇、小波著作 10 余部,全面收集了小波分析及其在图像压缩方面的研究资料。

图像压缩由编码器和解码器组成,解码是编码的逆过程,编码器的组成如图 1。



图 1 编码器的组成

图像压缩编码长期以来利用离散余弦变换(DCT)作为图像变换编码的主要技术,活动图像压缩主要利用运动补偿(MC)和 DCT 作为主要技术。然而利用 DCT 作为变换编码的主要技术是将图像分成  $8 \times 8$  块来处理,故不可避免存在两个主要的问题:方块效应和蚊式噪声。

目前国内外研究图像编码的主要方法是分形理论、神经网络和小波分析等,对于那些确

定性分析图像,用分形方法可以获得较好的效果,然而对于实际存在的许多图像(例如人像)从整体上看并不具有明显的确定性分形结构,这时用分形方法效果并不好,而且分形方法所需时间较长。现有的一些用于图像编码的神经网络模型都是在模拟人脑功能的思想下建立,没有考虑图像的特点和人眼的视觉机理,因此压缩效果不太理想。80年代后期发展起来的小波分析,其本质是多分辨或多尺度分析信号,故小波分析特别适用分析非平稳信号,而且它具有等Q分解信号的特性,非常符合人的视觉系统对频率感知的对数特性。由于小波变换能够有效地解决方块效应和基本上解决蚊式噪声,所以小波变换成为当前图像压缩编码的主要研究方向。时至今日,基于小波变换的图像压缩编码研究存在如下主要问题:1)完全或基本上套用 Daubechies 小波基;2)研究静止图像压缩占大多数;3)缺乏对小波变换本身的研究;4)基本上是单机或工作站上实现压缩算法;5)计算时间、压缩倍数、失真程度很难辩证统一;6)没有充分利用人眼的视觉特性;7)码书的分配不是最优化的;8)图像压缩系统从数学上和物理上没有达到整体最优化;9)压缩倍数不高。10)走向应用困难较大。

针对上述存在的主要问题,笔者对小波变换本身进行了较深入的研究,小波变换与 Fourier 变换都是线性变换即内积或数量积,受此启发笔者提出基于叉积或矢量积的三维非线性小波变换,而活动图像正是三维情形,由此认为三维非线性小波变换非常适合活动图像的压缩,这充分体现了非线性的效力,结合最优化原理和最优控制理论把这些想法在计算机局域网(LAN)上实现,这样可望从根本上解决活动图像的压缩问题。

#### 4.2 超大规模科学与工程计算

超大规模科学与工程计算一直是一个值得研究的重大课题,它不仅是正在快速以发展的巨型计算机的重要内容,而且与天气预报、工农业大系统分析、社会大系统的定量分析、核试验模拟以及如何打赢一场高技术条件下的局部战争等均有极为密切的关系。小波分析的 Mallat 算法使得运算工作量大为减少,显示出传统方法无法比拟的优越性,随着 Mallat 算法的不断改进和完善,一种高效益、低运算量、高精度的小波分析方法即将出现,它将为工农业生产、国防建设做出贡献。

#### 4.3 并行小波算法

基于计算机网络的并行小波算法是具有较高难度的研究课题,随着 PC 机价格的下降,校园网、Internet 网的普及和建立,并行小波算法会吸引越来越多的科技工作者,目前,国家自然科学基金委员会已资助几项并行小波算法研究,并鼓励更多的人从事这方面的研究。

#### 4.4 人类与社会的发展<sup>[8,9]</sup>

在社会发展、人类进步、经济日新月异的过程中,如果把观察这一过程的时间步长取得很大,则此过程可近似演变为平稳模式,形成宏观态势;若观察的时间步长缩小到一定程度时,则此过程就直接演变为非平稳带有许多突变的模式,形成微观态势。

钱学森教授在文献[8]中对什么是开放的复杂巨系统说明如下。开放的复杂巨系统是指:1)系统本身与系统周围的环境的物质的交换、能量的交换和信息的交换,由于有这些交换,所以是“开放的”;2)系统所包含的子系统很多,成千上万,甚至上亿万,所以是“巨系统”;3)子系统的种类繁多,有几十、上百、甚至几百种,所以是“复杂的”。钱学森教授认为无限维 Navier-Stokes 方程所决定的湍流不是复杂巨系统,而是简单巨系统;社会系统、人脑系统、人体系统、地理系统、宇宙系统、历史(即过去的社会)系统等均是开放的复杂巨系统。开放的复杂巨系统的一个特点是:从可观测的整体系统到子系统,层次很多,中间的层次又不认识,

甚至连有几个层次也不清楚,对于这样的系统只有采用从定性到定量的综合集成技术(Meta-synthetic Engineering)。由于小波分析鲜明的特性,故小波技术理所当然可在“Meta-synthetic Engineering”中发挥重要作用。

### 参 考 文 献

- 1 国家自然科学基金委员会. 国家自然科学基金项目指南. 北京: 高等教育出版社, 1997. 1~183
- 2 李建平, 张万萍, 陈廷槐等. 最佳小波基的构造与算法. 后勤工程学院学报, 1996, 12(4): 26~30
- 3 李建平, 陈廷槐, 徐问之等. 最佳小波基构造的一般方法. 见: 斯蕃, 范俊波; 神经网络理论与应用研究'96. 成都: 西南交通大学出版社, 1996. 432~435
- 4 钟声. 图像压缩技术及其应用. 电子学报, 1995, 23(10): 117~123
- 5 Hirabayashi T, Takayasu H, Miura H, et al. The behavior of a threshold model of market price in stock exchange. Fractals, 1993, 1(1): 29~40
- 6 Qian S, Weiss J. Wavelets and numerical solution of partial differential equations. J. of Computational Physics, 1993, 106: 155~175
- 7 Aneudo A. On the wavelet transform of multifractals. In: Wavelets Combes et al. Eds New York: Spring Verlag, 1988
- 8 钱学森. 再谈开放的复杂巨系统. 模式识别与人工智能, 1991, 4(1): 1~4
- 9 李建平. 小波分析与信号处理——理论、应用及软件实现. 重庆: 重庆出版社, 1997. 1~300

## Some Perspective Applied Areas of Wavelet Analysis

*Li Jianping Zhang Wanping Chen Tinghuai Xu Wenzhi*

(Logistical Engineering University)

**ABSTRACT** Some perspective applied areas of wavelet analysis are analyzed in this paper. The application of wavelet in active image compression is deeply explored and the development of wavelet is predicted.

**KEYWORDS** perspective; applied areas / wavelet analysis

(责任编辑 吕赛英)