

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 3
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年3月 第17卷 第3期(总第191期)

目次

图像处理和编码

- 摄影测量共线方程的单位四元数描述 杨化超,卢晓攀,王永波,姚国标(301)
- 分形压缩感知高维信号重构方法 刘佶鑫,孙权森(309)
- 自适应子矢量划分的快速码字搜索算法 吴鑫鹏,潘志斌,李达(315)
- 基于人类视觉模型的各向异性扩散滤波方法 宋建军,侯志强,余旺盛(321)
- 整数提升小波多相矩阵分解系数的快速提取算法 王锋,赵志文,牟盛(329)
- 自适应样本块大小的图像修复方法 孟春芝,何凯,焦青兰(337)

图像分析和识别

- 改进FCM在交互式图像分割中的应用 依玉峰,高立群,郭丽(342)
- 输电导线图像目标识别方法 孙凤杰,杨镇浓,李媛媛,范杰清(349)
- 无表观特征小目标检测与跟踪 陶霖密,李亮,邸慧军(357)
- 应用改进频率调谐的海上小目标检测方法 任蕾,施朝健,冉鑫(365)
- 视觉注意原理局部特征的行人检测 刘俊涛,刘文予,吴彩华,李雄伟,冯镔(370)
- 尺度不变单样本人脸识别方法 王炜强,张晓阳,曹春芹,付奎生(380)
- 复杂交通场景中采用稀疏表示的车辆识别方法 李修志,吴健,崔志明,陈建明(387)
- 利用复合导数的边缘检测新算法 程金梅,叶永强,姜斌(393)

图像理解和计算机视觉

迭代分割逼近:新的基于局部响应显著度的角点检测 马丽红,谭幸均(402)

融合 SIFT 特征的熵图估计医学图像非刚性配准 张少敏,支力佳,赵大哲,林树宽,赵宏(412)

计算机图形学

面向非均匀采样点集的 3 维表面重建算法 刘晓平,段瑞青,余烨(419)

基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法 周剑,唐卫清,朱耀琴,夏明,黄晓剑(426)

带有位置修正的环境映射 王晨昊,汤晓安,孙即祥,马伯宁(435)

遥感图像处理

海岸线遥感信息提取的元胞自动机方法及其应用 冯永玖,韩震(441)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 3 期

2012 年 3 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101

电子信箱:jig@irsa. ac. cn

电话:010-68407995 010-82614429

网 址:www. cjig. cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa. ac. cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 3 March 2012

Contents

Image Processing and Coding

- Unit quaternion based description of collinearity equations Yang Huachao, Lu Xiaopan, Wang Yongbo, Yao Guobiao(301)
- Fractal compressive sensing for high-dimension signal recovery Liu Jixin, Sun Quansen(309)
- Fast codeword search algorithm based on adaptive subvector partitions Wu Xinpeng, Pan Zhibin, Li Da(315)
- Anisotropic diffusion image smoothing method based on human visual model Song Jianjun, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng(321)
- Fast extraction algorithm of the polyphase matrix decomposition coefficient based integer lifting wavelet
..... Wang Feng, Zhao Zhiwen, Mou Sheng(329)
- Image completion method with adaptive patch size Meng Chunzhi, He Kai, Jiao Qinglan(337)

Image Analysis and Recognition

- Application of improved FCM for interactive image segmentation Yi Yufeng, Gao Liqun, Guo Li(342)
- Methods of transmission line target recognition Sun Fengjie, Yang Zhenhuan, Li Yuanyuan, Fan Jieqing(349)
- Featureless small object detection and tracking Tao Linmi, Li Liang, Di Huijun(357)
- Small target detection method under sea surface environment using revised frequency tuned saliency detection
..... Ren Lei, Shi Chaojian, Ran Xin(365)
- Pedestrian detection method using local feature based on vision attention
..... Liu Juntao, Liu Wenyu, Wu Caihua, Li Xiongwei, Feng Bin(370)
- Scale invariant face recognition from single sample Wang Weiqiang, Zhang Xiaoyang, Cao Chunqin, Fu Kuisheng(380)
- Sparse representation method of vehicle recognition in complex traffic scenes
..... Li Xiuzhi, Wu Jian, Cui Zhiming, Chen Jianming(387)
- Novel edge detection algorithm using a composite derivative Cheng Jinmei, Ye Yongqiang, Jiang Bin(393)

Image Understanding and Computer Vision

- Iterative segment approaching: new corner detection based on local response saliency Ma Lihong, Tan Xingjun(402)
- Entropic graph estimation integrated with SIFT features for medical image non-rigid registration
..... Zhang Shaomin, Zhi Lijia, Zhao Dazhe, Lin Shukuan, Zhao Hong(412)

Computer Graphics

- Three-dimensional surface reconstruction algorithm for non-uniform sampling points Liu Xiaoping, Duan Ruiqing, Yu Ye(419)
- Multi-resolution rendering approach of large-scale process plant models based on programmable graphics pipeline
..... Zhou Jian, Tang Weiqing, Zhu Yaoqin, Xia Ming, Huang Xiaojian(426)
- Environment mapping with position rectification Wang Chenhao, Tang Xiao'an, Sun Jixiang, Ma Boning(435)

Remote Sensing Image Processing

- Cellular automata approach to extract shoreline from remote sensing imageries and its application
..... Feng Yongjiu, Han Zhen(441)

中图法分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)03-0329-08

论文引用格式: 王锋, 赵志文, 牟盛. 整数提升小波多相矩阵分解系数的快速提取算法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(3): 329-336

整数提升小波多相矩阵分解系数的快速提取算法

王锋, 赵志文, 牟盛

北京师范大学信息科学与技术学院, 北京 100875

摘要: 整数提升小波多相矩阵分解系数不唯一, 选取方法多样, 计算量大。首先采用滤波器迭代次数选取算法, 按照输入的信噪比(SNR)比例求出优化迭代次数; 然后以非线性迭代比较算法为判定准则, 结合求出的优化迭代次数, 得到满足参数要求的优化分解系数。迭代次数是依据待测数据求得的, 因此优化分解系数对该数据取得较好的处理效果, 满足多相矩阵分解系数选取的要求。迭代比较算法满足收敛特性, 通过比较滤波器的冲击和阶跃响应是否满足设定的误差限, 可减少迭代运算次数, 快速准确地选取优化小波系数。通过实验分析可知, 该快速提取算法能有效满足数据处理的要求, 减少待测数据处理的计算量, 提高数据处理的效率。

关键词: 整数提升小波; 迭代次数; 多相矩阵; 快速提取算法

Fast extraction algorithm of the polyphase matrix decomposition coefficient based integer lifting wavelet

Wang Feng, Zhao Zhiwen, Mou Sheng

College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: The polyphase matrix decomposition coefficient of Integer Lifting Wavelet is not unique. It has diverse selection methods and large computation quantity. First, the selection algorithm of filter iteration times is adopted to obtain the optimal iteration times, according to the input signal-to-noise ratio. Then, the comparison algorithm of the nonlinear iterated function, which combines the optimal iteration time, is treated as criteria to obtain the optimal decomposition coefficient. The iteration time is based on the input data, so the decomposition coefficient will have the optimal processing effect for the data, meeting the selection requirements of the polyphase matrix decomposition coefficients. The comparison algorithm meets the convergence characteristics, which can reduce the number of iterations by comparing whether the impulse response and step response of filters meet the error limit, in order to obtain the optimal decomposition coefficient quickly. Stemming from experiment results, this fast extraction algorithm can effectively meet the requirements of data processing, reduce the data computation quantity and elevate the data processing efficiency.

Key words: integer wavelet transform; iteration times; polyphase matrix; fast extraction algorithm

0 引言

小波变换在时频域同时具有良好的局部化特性, 并具有相应的快速算法, 因此在数学和工程领域

都获得广泛应用。第一代小波变换算法(即 Mallat 算法)是以傅里叶变换为工具, 采取了输入信号与高通和低通滤波器相卷积的方法实现高频和低频信息的分离, 因此小波滤波器的系数都是小数, 中间结果中也有一些是小数^[1]。而在图像的处理中, 输入

收稿日期: 2010-10-18; 修回日期: 2011-05-10

第一作者简介: 王锋(1983—), 男, 北京师范大学信息科学与技术学院通信与信息系统专业硕士研究生, 主要研究方向为通信与信息安全。E-mail: wangfengtop@gmail.com

通讯作者: 赵志文, E-mail: zhaozw126@126.com

的图像数据多数是用整数表示,便于存储和编码^[2],若对数据处理过程中产生的小数直接进行取整,会丢失很多信息,使得重构和分解不可逆,从而无法实现精确重构,且不满足无损压缩的要求^[3]。Sweldens 提出的基于提升结构的小波变换^[4],被称为第二代小波或整数小波。它用一种极其简单的方法去解释小波的基本理论,凡可以用 Mallat 算法实现的小波变换都可以通过 Laurent 多项式的 Euclidean 算法得到其等效的提升方案^[1,5]。小波提升方案与第一代小波构造方法的主要区别在于,前者不依赖于傅里叶变换,它是在时域中直接实现小波构造,能很好的克服第一代小波中遇到的难题^[5]。小波提升方案提供了将数据从整数到整数变换的方法,且具有计算速度快,占用内存少等特点^[6]。

小波提升方案的上述优点,使提升小波在图像处理中得到广泛应用^[7],但在小波提升变换过程中,由于多相矩阵的分解结果不唯一,小波变换的提升结构也不是唯一的。小波分解系数选取的一般方法是令欧几里得定理求得的商多项式尽可能对称且是 $Z+1$ 的倍数^[3],或者将图像数据代入多相矩阵的各种分解方法中进行计算,在一定的准则下选出最适合要求的分解方法^[2]等。这些方法能取得较好的分解系数,但需要进行多种方法的对比,而且依赖于输入数据,计算量较大。有关研究指出,小波变换提升实现的简易算法,对提升与对偶提升步骤做了简化^[8],提高了数据处理的速度,而对分解系数的选取并没有形成统一的准则。

近几年来,相关的领域采用了各种有效的方法对小波的分解系数进行研究,取得了一定的成效。Grangetto 等人采用了 3 种方法对分解系数进行研究,分别为微创非线性图形迭代函数、提升方案的最少步骤和逼近归一化常数^[6]。第 1 种方法采用滤波器冲击响应特性作为小波分解系数选取的依据,这种方法在小波滤波器设计中已得到广泛应用^[9],其运算过程的低复杂性使其在多数情况下都具有可行性,但不能对所有滤波器组 $\{s_i(z), t_i(z)\}$ 进行设计验证,而且对滤波器的迭代次数 i 没有形成统一的判定依据。方法 2 和方法 3 能够减小四舍五入引入的误差,但对软硬件提出了一定的要求,而且解决的方法存在不唯一的现象。Bishop 等人采用多种算法对 Daubechies 9/7 小波变换的实现形式进行研究^[7],设计了各种滤波器组对图像进行处理,在数

据处理的精度上有了一定的提高,但数据处理的速度上缺乏相应的考虑。同时, Geng 等人对在图像处理中的效果进行了对比研究^[10],指出基于 Daubechies 9/7 小波变换在图像消噪、边沿处理、有损压缩与无损压缩方面,都具有良好的处理效果。Wang 等人对提升小波在图像增强技术中的处理效果与传统的小波变换效果进行比较,指出基于提升小波的增强算法在图像处理中能取得更好的处理效果^[11-12],但小波系数的选取依然采用传统方法。

针对小波系数的选取问题,采用一种以离散小波变换(DWT)作为其标准滤波器,以数据经过 DWT 后首次得到数据处理所需的信噪比(SNR)值为依据,得到针对该图像数据的迭代次数 i 。然后,将 i 次迭代后的该等效滤波器与多相矩阵分解后的滤波器组依次进行比较,采用非线性迭代比较算法作为判别准则,求得满足要求的该多相矩阵的优化分解系数。这种方法是基于待测数据信噪比要求的,因此求得的迭代次数具有一定的针对性。在此基础上,利用滤波器的冲击响应和阶跃响应特性,对多相矩阵的各个分解系数与 DWT 的 i 次等效滤波器系数进行对比。整个过程中,待测数据的运算次数较少,不仅体现了待测数据本身的特殊性,同时也提高了数据处理的运算速度与准确度,提高了数据处理的效率。

1 滤波器迭代次数的选取

对于离散小波变换而言,所有分解结果都是等价的,但是由于其计算精度的限制,不能实现图片的无损压缩^[13-14]。对于整数小波变换(IWT),虽然能够实现无损压缩编码,由于引入了非线性的操作,其特性依赖于多相矩阵分解因数的选取。为从多相矩阵 $P(z)$ 的分解结果中快速提取优化分解系数,并减少分解验证过程的计算量,这里采用 DWT 滤波器作为其标准滤波器。由于 IWT 非线性特性的引入,数据处理后的结果在理论上是不可预测的,而整数迭代函数的规律性在实验中已被证明能够影响 IWT 的特性^[6]。

对于一个给定的图像数据,为了研究信噪比对其在压缩、色彩、精度等方面的影响特性,有时需要信噪比的某个中间值或其变化值引起的图像处理效果的变化规律,这对于图像特性的研究具有重要的意义。而对于信噪比而言,当迭代次数达到一定次数之后,如果信源的信息量不再明显增加,对应输出

信噪比也必将不再明显提高^[15]。因此,为取得理想的数据处理效果,在给定图像数据的条件下,将标准滤波器的第一次迭代输出与第一个迭代输出的极大值进行比对,选取其中的较大者作为其参考信噪比

SNR_{max} ,将图像处理要求按一定比例 N 映射到相应图像信噪比参数上,得到的信噪比 SNR_0 便为该图像处理所需的信噪比参数。滤波器迭代次数选取算法的流程如图 1 所示。

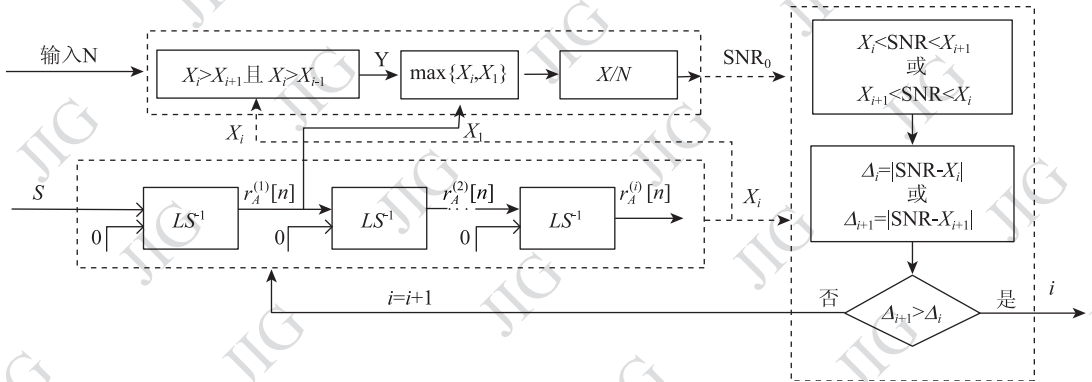


图 1 迭代次数选取算法

Fig. 1 The selection algorithm of iteration times

按照图像所需处理要求,输入信噪比的比例 N ,待测数据 S 经过标准滤波器后,其输出的信噪比 X_i 一方面用于求其信噪比的第一个极大值 X_i ,将 X_i 与第一次迭代输出值 X_1 进行比较,求出二者中较大的值作为参考信噪比,再除以比例系数 N ,得到对应的信噪比参数 SNR ;另一方面,信噪比 X_i 与信噪比参数 SNR_0 进行比较,当输出的信噪比首次满足条件 $X_i < SNR_0 < X_{i+1}$ 或者 $X_{i+1} < SNR_0 < X_i$ 时,说明满足所需信噪比的最小迭代次数应该在 i 与 $i+1$ 中进行选取,反之, $i = i + 1$ 继续进行下一次迭代。然后比较 $\Delta_i = |SNR - X_i|$ 与 $\Delta_{i+1} = |SNR - X_{i+1}|$ 的大小,当 $\Delta_i \leq \Delta_{i+1}$ 时,最佳迭代次数选取 i ,反之,选择 $i+1$ 。此时迭代循环结束,将该对应的迭代次数 i 作为优化迭代次数,输出给下一级进行运算。

同,数据经过滤波后存在一定的差异。为从多相矩阵 $P(z)$ 的分解结果中快速提取优化分解系数,并减少分解验证过程的计算量,通过迭代次数选取算法求出优化迭代次数 i 后,采用非线性迭代比较算法作为判别准则,对多相矩阵的优化分解系数进行选取。

对系统而言,冲击响应的积分为其阶跃响应,但系统对冲击信号和阶跃信号的响应是不同的,图 2 和图 3 分别为巴特沃思滤波器和切比雪夫滤波器的迭代冲击响应与迭代阶跃响应特性。从响应波形图可以看出,迭代次数不同时对应的响应波形都会产生一定的差异,输入信号采用冲击信号与阶跃信号相叠加的方式,可以保证标准滤波器与多相矩阵分解得到的滤波器同时具有相似的冲击响应和阶跃响应特性,便于选取更为精确的小波分解系数。

此迭代次数选取算法是基于每次的待测数据及其所需的信噪比要求的,因此获得的迭代次数对于该待测数据具有一定的针对性。另外,基于图像所需处理效果对应的信噪比作为判据,能有效减少信号中有效成分的丢失,图像经过处理后能获得较好的预期处理效果,为后面通过非线性迭代函数选取 IWT 的优化分解系数做准备。

对于单位冲击信号,其迭代滤波器的冲击响应是非常不规则的,但当冲击信号的幅值增大时,迭代冲击响应开始变得平滑,并且趋向于 DWT 的特性^[6],因此选取输入信号 $e_A[n] = A(\delta[n] + u[n])$ ($A > 1$) 的幅值 $A > 1$,使得输出的冲击响应尽量规则与平滑,保证标准滤波器与多相矩阵的分解滤波器取得更为相近的参数指标,提高系数选取的准确度。这里以输入信号 $e_A[n]$ 经过带通滤波器的 i 次迭代响应信号 $r_A^{(i)}[n]$ 为依据,定义 $e_A[n]$

2 多相矩阵分解系数的快速选取

多相矩阵 $P(z)$ 分解后得到的滤波器组 $\{s_i(z), t_i(z)\}$ 均为带通滤波器组,但由于其系数不

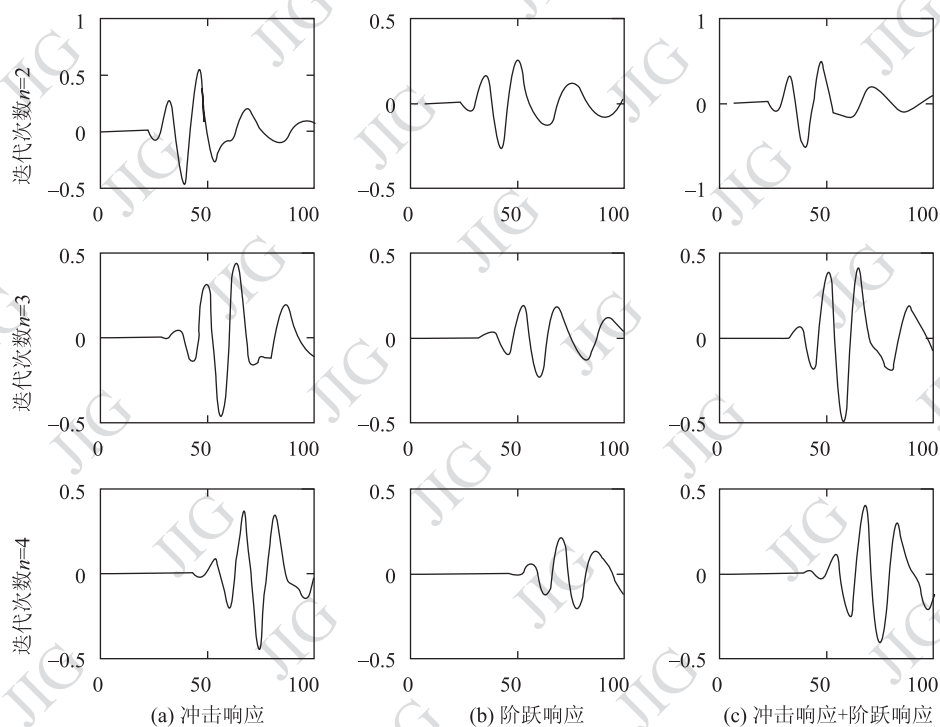


图2 巴特沃思滤波器的迭代响应特性

Fig. 2 The iterative response of Butterworth filter

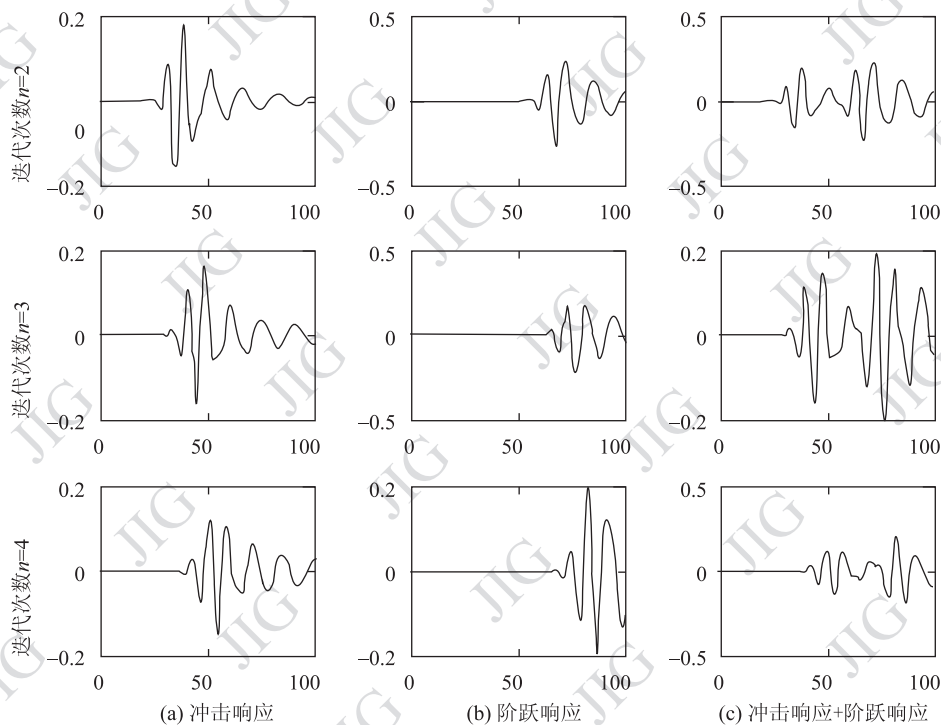


图3 切比雪夫滤波器的迭代响应特性

Fig. 3 The iterative response of Chebyshev filter

经过标准滤波器的第 i 次图形迭代函数 $y_A^{(i)}(t)$ 为

$$y_A^{(i)}(t) = 2^{i/2} r_A^{(i)}[n] \quad \frac{n}{2^i} < t < \frac{n+1}{2^i} \quad (1)$$

定义 $e_A[n]$ 经过多相矩阵 $P(z)$ 的第 j 个分解结果的响应函数为 $y_{j,A}^{(i)}(t)$, 则非线性迭代函数定义为

$$\Delta E_{j,A} = \|y_A^{(i)}(t) - y_{j,A}(t)\|_{L^2} \quad (2)$$

在比较算法 $\varphi(t)$ 条件下, 对应的迭代函数定义为

$$\Delta E_{j+1,A} = \varphi(\Delta E_{j,A}) \quad (3)$$

取迭代函数能取到的一个值 ΔE_A^* , 采用 Lagrange 中值定理

$$\begin{aligned} \Delta E_{j+1,A} - \Delta E_A^* &= \varphi(\Delta E_{j,A}) - \varphi(\Delta E_A^*) = \\ &= \varphi'(\zeta)(\Delta E_{j,A} - \Delta E_A^*) \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta E_{j+1,A} - \Delta E_{j,A} &= \varphi(\Delta E_{j,A}) - \varphi(\Delta E_{j-1,A}) = \\ &= \varphi'(\bar{\zeta})(\Delta E_{j,A} - \Delta E_{j-1,A}) \quad (5) \end{aligned}$$

假设存在变量 $L(L < 1)$, 使得 $\varphi'(\Delta E_{j,A}) \leq L$ 条件成立, 则表达式(4)(5)可变换为

$$\Delta E_{j+1,A} - \Delta E_A^* \leq L |\Delta E_{j,A} - \Delta E_A^*| \quad (6)$$

$$\Delta E_{j+1,A} - \Delta E_{j,A} \leq L |\Delta E_{j,A} - \Delta E_{j-1,A}| \quad (7)$$

将式(6)(7)代入变换, 得

$$\begin{aligned} \Delta E_{j+1,A} - \Delta E_A^* &= \varphi(\Delta E_{j,A}) - \varphi(\Delta E_A^*) \leq \\ &= L |\Delta E_{j,A} - \Delta E_A^*| = \\ L |\Delta E_{j+1,A} - \Delta E_A^* + (\Delta E_{j+1,A} - \Delta E_{j,A})| &\leq \\ L |\Delta E_{j+1,A} - \Delta E_A^*| + & \\ L |\Delta E_{j+1,A} - \Delta E_{j,A}| & \quad (8) \end{aligned}$$

该不等式整理得

$$\Delta E_{j+1,A} - \Delta E_A^* \leq \frac{L}{1-L} |\Delta E_{j+1,A} - \Delta E_{j,A}| \leq$$

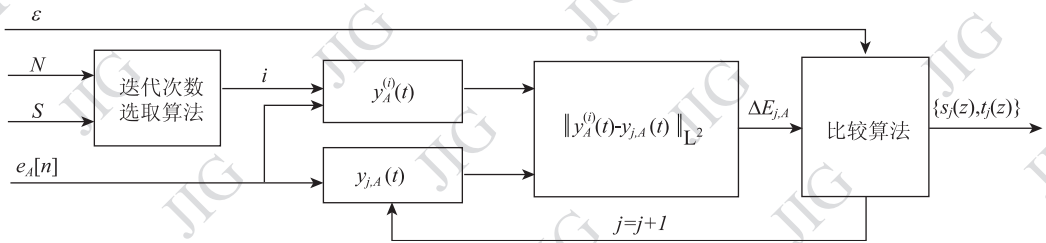


图4 多相矩阵优化分解系数的选取流程

Fig. 4 The selection process of polyphase matrix decomposition coefficients

综上所述, 多相矩阵优化分解系数选取的方法可分为以下几步:

- 1) 选取合适的小波基, 根据 Laurent 多项式的 Euclidean 算法, 求出多相矩阵的分解系数。
- 2) 输入所需信噪比的比例 N , 按照迭代次数的

$$\begin{aligned} \frac{L}{1-L} |\Delta E_{j,A} - \Delta E_{j-1,A}| &\leq \\ &\vdots \\ \frac{L^j}{1-L} |\Delta E_{1,A} - \Delta E_{0,A}| & \quad (9) \end{aligned}$$

因为 $\Delta E_{0,A} = 0$ 且 $\Delta E_{1,A} = C$ (C 为常数), 故

$$\Delta E_{j+1,A} - \Delta E_A^* \leq \frac{L^j}{1-L} |\Delta E_{1,A}| \quad (10)$$

由于 $L < 1$, 所以 $\lim_{j \rightarrow \infty} \frac{L^j}{1-L} = 0$ 。

因此, 对于任意的初始值 $\Delta E_{1,A}$, 只要比较算法函数 $\varphi'(\Delta E_{j,A}) < 1$, 非线性迭代函数便具有收敛性, 且唯一收敛于 ΔE_A^* , 此值即为非线性误差 $\Delta E_{j,A}$ 最小值。

在函数中可预先给定误差限 ε , 即要求 $|\Delta E_{j,A} - \Delta E_A^*| < \varepsilon$ 。由式(6)知, 只要

$$\frac{L}{1-L} |\Delta E_{j,A} - \Delta E_{j-1,A}| < \varepsilon$$

即 $|\Delta E_{j,A} - \Delta E_{j-1,A}| < \frac{1-L}{L} \varepsilon \approx \varepsilon$, 迭代运算就可以终止, $\Delta E_{j,A}$ 可以看做函数的近似解。

因此, 在迭代次数 i 和信号幅度 $A > 1$ 的前提下, 将多相矩阵 $P(z)$ 的各分解因数代入非线性迭代比较算法, 求得满足误差限 ε 要求 $\Delta E_{j,A}$ 对应的分解系数便为最接近 DWT 的 i 次等效迭代滤波器系数。多相矩阵优化分解系数选取的流程如图 4 所示。“比较算法”按照 j 的递增顺序对多相矩阵分解后滤波器组的输出结果进行处理, 求得满足误差限 ε 的 $\Delta E_{j,A}$ 时对应的滤波器系数 $\{s_i(z), t_i(z)\}$ 便为多相矩阵 $P(z)$ 的优化分解系数。

选取算法, 求出待测数据经过标准滤波器后 SNR 首次取得所需要求时对应的迭代次数。

- 3) 求出迭代次数后, 将多相矩阵的分解因数代入非线性迭代函数, 计算对应的 $\Delta E_{j,A}$ 值。
- 4) 按照比较算法, 取 $\Delta E_{j,A}$ 满足误差限 ε 时的分

解系数为多相矩阵的优化分解系数。

此快速提取算法与 Bishop 等人^[7]和 Wang^[11]采用的传统典型算法相比,数据处理过程都需图像数据参与,然后将处理结果进行比较。通常,算法花费的时间与算法中语句的执行次数成正比例,而每条语句的执行时间等于语句的执行次数(即频度)与语句执行一次所需时间的乘积。传统算法的典型运算语句如下:

- 1) for (k-1; k <= n; k++)
- 2) X[k]; //数据与多相矩阵分解结果的运算
- 3) for (i=1; i <= n; i++)
- 4) for (j=1; j <= n-i; j++)
- 5) if (Y0 > A[i][j])
- 6) //分解系数的循环比较算法

传统算法需要将各分解系数之间进行循环比较,而步进循环语句一般只考虑循环体中语句的执行次数,因此传统算法的频度为 $f_1(n) = n^2 + 3n + C$,其时间复杂度为 $T_1(n) = O(n^2)$ 。而我们的快速提取算法只需要将各分解系数与 i 次迭代系数比较,即省掉了算法的第(4)条循环语句,因此快速提取算法的频度为 $f_2(n) = 4n + C$,时间复杂度为 $T_2(n) = O(n)$ 。可见,快速提取算法比传统算法的运算复杂度要低。

在算法的运算量上,由于传统算法中输入的图像数据参与所有运算过程,而快速提取算法中前半部分图像数据参与运算,后半部分只有 $e_a[n]$ 参与运算,因此快速提取算法比传统算法的运算量小。鉴于快速提取算法在算法复杂度和运算量上的优势,故快速提取算法能减小计算的工作量,快速提取多相矩阵的分解系数。

通过以上步骤求得多相矩阵优化分解系数的方法,虽需要待测数据进行 i 次的迭代运算,但并不需要将待测数据对多相矩阵的每一种分解结果进行比较验证,减小了计算的工作量,提高了变换的效率,而且采取了基于待测数据和输出数据信噪比要求作为判断标准的方法,针对不同的输入数据能自适应的采用不同的多相矩阵分解系数,使得选取的滤波器系数针对该数据具有优化的数据处理效果,为提取 $P(z)$ 的优化分解系数提供了一种简捷快速的算法。

3 实验结果及分析

基于 Daubechies 9/7 小波整数提升结构在图像

消噪、边沿处理等方面取得的良好处理效果^[10-12],按上述步骤对 Daubechies 9/7 小波进行整数提升,调用 MATLAB 自带的图像 woman,将图片加噪后作为输入的图像数据,这里选取信号幅度 A 为 50,取输入的信噪比的比例 N 依次为 1、2、3、4、5,误差限为 5%。首先采用传统的方法将图像数据在满足上述信噪比要求的条件下进行运算,记录其输出的迭代次数和选取的小波系数,以及每一运算时所用时间。然后采用多相矩阵分解系数的快速提取算法,将相同的数据和信噪比要求输入该算法中,记录每次运算输出的迭代次数、优化小波分解系数和运算的时间,并将传统方法与该快速提取算法输出的参数进行比较,具体的参数比较如表 1 所示,其中, N 表示滤波器迭代次数选取算法中输入所需的信噪比比例,SNR 和 i 分别表示滤波器迭代次数选取算法在输入参数 N 时输出的图像信噪比的值和对应的迭代次数, $\{s_i(z), t_i(z)\}$ 表示按照图像处理要求所求出的 Daubechies 9/7 小波的分解系数。通过分析,传统算法与该快速算法输出的小波系数一致。 $T_{\text{传统IWT}}$ 表示传统算法求得小波分解系数所需要的时间, $T_{\text{优化IWT}}$ 表示快速提取算法求得小波分解系数所需要的时间。

通过实验分析,采用多相矩阵分解系数的快速提取算法能够取得与传统的 IWT 相同的分解系数,因此在图像处理的质量上具有相同的效果。但由于快速提取算法不需要将图像数据代入分解后的滤波器中进行一一验证,因此相对于传统 IWT 而言,在保证图像处理效果的同时,缩短了图像处理的时间,提高了图像处理的效率。快速提取算法与传统 IWT 在相同数据处理条件下所用时间的对比情况如图 5 所示。

从图 5 可以看出,对于 woman 图像,在相同的信噪比条件下,从图像处理的速度而言,优化 IWT 的平均运行时间比传统 IWT 快约 0.238 22 s,相当于提高 26.408% 的运行速度,因此,基于输入数据的分解系数快速提取算法,能根据输入数据及其处理要求针对性的调节迭代次数,取得与传统算法相同的小波分解系数,同时减少数据处理的时间,提高数据处理的效率。基于上述快速提取算法结果,该图像数据在 $N = 2$ 要求下得到的图像处理效果如图 6 所示,此时经过运算后得到的最小非线性迭代函数值 $\Delta E_{j,A} = 0.001\ 042$ 。

表1 Daubechies 9/7 小波的优化提升分解系数

Table 1 The optimal decomposition coefficient of Daubechies 9/7

N	SNR /dB	i	db9/7 系数						$T_{\text{传统IWT}}$ (S)	$T_{\text{优化IWT}}$ (S)	
			$s_i(z) = a_0z^m + a_1z^{m-1} + a_2z^{m-2}$			$t_i(z) = a_0z^m + a_1z^{m-1} + a_2z^{m-2}$					
			m	a_0	a_1	a_2	a_0	a_1			a_2
		0	0	0	0	0.559 099 222 3	0.559 099 222 3	0			
1	33.64	2	1	0	0	0	1.027 035 119 7	1.027 035 119 7	0	0.832 1	0.713 5
			2	0.052 980 118 6	0.052 980 118 6	0	-0.882 911 075 5	-0.882 911 075 5	0		
			0	0	0	0	1.586 134 342 1	1.586 134 342 1	0		
2	16.82	5	1	0.052 980 118 6	0.052 980 118 6	0	-0.882 911 075 5	-0.882 911 075 5	0	1.458 7	0.965 4
			2	-0.443 506 852 0	-0.443 506 852 0	0	0	0	0		
			0	0	0	0	-0.882 911 075 5	-0.882 911 075 5	0		
3	11.21	10	1	1.025 468 944 2	1.025 468 944 2	0	1.542 031 554 7	1.542 031 554 7	0	1.854 1	1.214 5
			2	0.052 980 118 6	0.052 980 118 6	0	-0.018 542 278 5	-0.018 542 278 5	0		
			0	0.052 980 118 6	0.052 980 118 6	0	0.559 099 222 3	0.559 099 222 3	0		
4	8.41	17	1	1.025 468 944 2	1.025 468 944 2	0	1.027 035 119 7	1.027 035 119 7	0	2.286 1	1.732 1
			2	-0.104 482 685 2	-0.104 482 685 2	0	-1.336 458 842 3	-1.336 458 842 3	0		
			0	1.025 468 944 2	1.025 468 944 2	0	1.027 035 119 7	1.027 035 119 7	0		
5	6.73	25	1	0.052 980 118 6	0.052 980 118 6	0	-0.882 911 075 5	-0.882 911 075 5	0	2.589 3	2.012 6
			2	1.231 552 113 4	1.231 552 113 4	0	-1.550 321 457	-1.550 321 457	0		

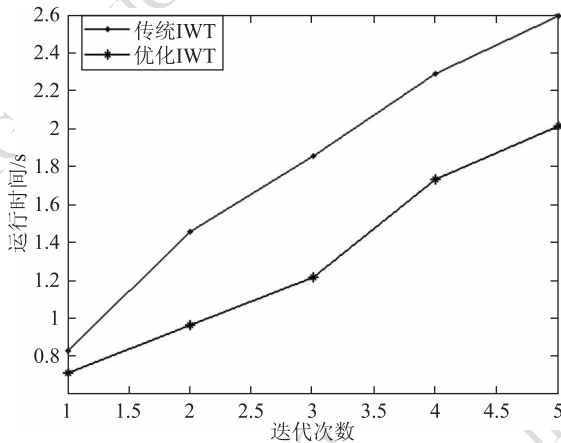


图5 不同迭代次数下图像的处理时间

Fig. 5. The image processing time in different iteration times

综上所述,由于 DWT 的计算精度限制,不能实现图片的无损压缩编码。通过整数提升小波多相矩阵分解系数的快速提取算法,不仅能根据所需信噪比的不同要求,从多相矩阵 $P(z)$ 的分解结果中快速提取优化分解系数,取得与传统 IWT 相同的图像无损压缩处理效果,而且能够减少分解验证过程中的计算量,缩短数据处理的时间,提高数据处理的效率。

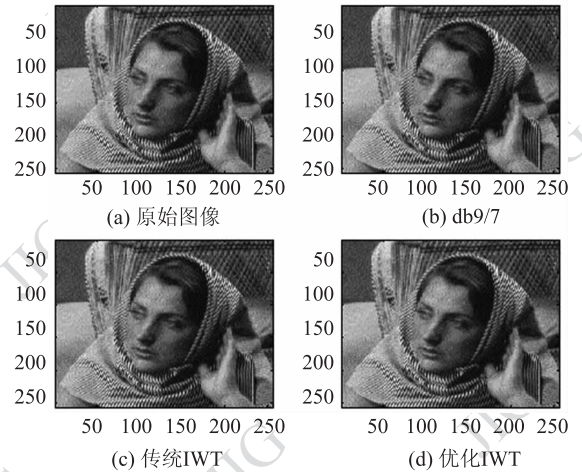


图6 N=2 时的 woman 图像变换效果

Fig. 6 The effect of woman transformation when $N = 2$

4 结论

整数提升小波变换,由于进行取整操作而引入了非线性特性,采用多相矩阵的不同分解系数会对图像的有损和无损压缩产生影响。本文以 DWT 滤

波器作为标准滤波器,按照输入的信噪比和误差限要求,首先采用滤波器迭代次数选取算法求出其优化迭代次数,然后以非线性迭代比较算法作为判定准则,通过标准滤波器的 i 次等效迭代响应与传统 IWT 各分解系数的响应不断逼近的方法,求得该多相矩阵的优化分解系数。由于求得的迭代次数是基于待测数据处理要求的,因此该迭代次数具有一定的针对性,同时能取得与传统 IWT 相同的数据处理效果,并能有效减少运算过程的计算量,提高小波变换的效率。实验结果表明,利用非线性迭代函数对多相矩阵分解系数进行快速提取的算法,能有效减少待测数据处理量的计算量,提高数据处理的效率,有利于快速获得满足特定要求的图像处理效果。

参考文献 (References)

- [1] Daubechies, Sweldens. Factoring wavelet transforms into lifting steps [J]. *Fourier Anal Appl*, 1998, 4(3):245-269.
- [2] Wang X B. Image enhancement based on lifting wavelet transform [C]//*Proceedings of 2009 the 4th International Conference on Computer Science & Education*. Washington DC, USA: IEEE Press, 2009:739-741.
- [3] Hu G S. *Modern Signal Processing Tutorial* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007:397-405. [胡广书. 现代信号处理教程[M]. 北京:清华大学出版社,2007:397-405.]
- [4] Sweldens W. The lifting scheme: a construction of second generation wavelets [J]. *SIAM J. Math. Anal.* 1997, 6(2): 511-546.
- [5] Rioul O, Vetterli M. Wavelets and signal processing[J]. *IEEE Signal Processing Mag*, 1991, 8(4):14-39.
- [6] Grangetto M, Magli E, Martina M, et al. Optimization and implementation of the integer wavelet transform for image coding [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2002,11(6):596-610.
- [7] Bishop S L, Rai S, Gunturk B, et al. Reconfigurable implementation of wavelet integer lifting transforms for image compression[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 4(5):16-24.
- [8] Zhang D F. *Matlab Wavelet Analysis* [M]. Beijing: China Machine Press, 2009:206-250. [张德丰. Matlab 小波分析 [M]. 北京:机械工业出版社,2009:206-250.]
- [9] Tu Y, Zhou R J, Zhang F. ECG signal preprocessing based on change step iteration of the LMS adaptive filtering algorithm [C]// *Proceedings of 2009 World Congress on Computer Science and Information Engineering*. Washington DC, USA: IEEE Press, 2009:155-158.
- [10] Geng G Z, Chen H, Liu Y Y, et al. Image fusion method of 9/7 wavelet transform based on lifting scheme [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2009, 3(1):21-33.
- [11] Wang X B. Image enhancement based on lifting wavelet transform [C]//*Proceedings of 2009 4th International Conference on Computer Science & Education*. Washington DC, USA: IEEE Press, 2009:108-212.
- [12] Lin C J, Zhang B, Zheng Y. Packed integer Wavelet Transform Constructed by Lifting Scheme [J]. *IEEE Transaction on Image Processing*, 2000.3(1):106-205.
- [13] Grangetto M, Magli E, Olmo G. Lifting integer wavelets toward linearity [C]//*Proc. 33rd Asilomar Conf.* Washington DC, USA:IEEE Press, 1999,3(1): 47-69.
- [14] Liyakathunisa, Kumar Ravi, Ananthashayana V K. Super resolution reconstruction of compressed low resolution images using wavelet lifting schemes [J]. *IEEE Signal Processing Mag*, 2009,6(4):18-25.
- [15] Li X M, Yue G X, Yin C C. A Threshold for the "early detection" method and an output SNR stop criterion for Turbo codes[J]. *Beijing University of Posts and Telecommunications*, 2000, 23(1):46-50. [李祥明,乐光新,尹长川. Turbo 码译码器“及早判决”门限的确定及输出信噪比停止迭代准则[J]. 北京邮电大学学报,2000, 23(1):46-50.]