

基于小波的水下图像对比度增强方法研究

江晋剑, 王远志, 钱 萌

(安庆师范学院 计算机与信息学院, 安徽 安庆 246011)

摘 要: 因水下信道的特殊性以及成像的复杂性, 使得水下图像中的不确定因素给图像处理带来严重的影响。主要介绍了一种利用小波变换进行水下图像增强的方法, 以克服水下不确定因素给图像处理带来的困难, 并对其进行了仿真试验。为降低对水下图像噪声增强程度, 该方法对不同尺度上的系数进行不同尺度的对比度增强。试验结果表明, 此方法在对深海图像的处理能够取得好的效果, 可有效地克服水下图像灰度分布不均匀和环境不确定因素的干扰。

关键词: 小波变换; 水下图像; 对比度增强; 多尺度分析

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)04-0035-03

Research of Underwater Image Processing Based on Wavelet Transform

JIANG Jin-jian, WANG Yuan-zhi, QIAN Meng

(School of Computer and Information, Anqing Normal College, Anqing 246011, China)

Abstract: Because of the speciality of the underwater channel and the complexity of imaging environment, the uncertain factors in underwater image produce serious impact on image processing. Principally proposed an underwater images contrast enhancement method of wavelet transform, the method is emulated in the experiment to get over with the trouble brought by uncertain factors in the undersea environment during the process of target identification. The decomposed coefficients at different scales are enhanced in different degrees so as to decrease the degree of enhancement of noise in underwater images. The experimental results have demonstrated that, the approach is valid for underwater image processing of undersea hydrothermal vent image, and can be effectively protected from gray level asymmetric distributing and uncertain environmental interference.

Key words: wavelet transform; underwater images; contrast enhancement; multiscale analysis

0 引言

21 世纪是人类向海洋进军的世纪, 海洋信息获取、传输和处理的理论与技术的重要性更显突出, 水下机器人是人类探索与开发海洋的重要工具。视觉系统是水下机器人获取周围环境信息的重要手段之一, 一方面要将获得的环境信息抽象为可供机器人规划和决策的环境模型, 同时提供机器人对水下目标的检测、跟踪和定位信息。因此, 图像信息处理的能力是水下机器人对环境动态感知、快速定位与跟踪视觉目标的关键。海洋环境的复杂性突出表现是水下不确定性因素(如动态的、非结构化的)影响更加严重, 水下成像过程中水体对光的散射和吸收效应带来的非线性影响, 以及水下图像对比度低、边缘模糊、弱纹理等缺

陷, 这些为水下图像处理带来了更多的困难^[1]。因此, 图像的对比度增强是目前水下图像处理领域的一个重要问题。

图像增强的常规方法有直方图均衡、同态增晰等。随着小波分析方法的出现, 基于小波多尺度增强技术出现了, 如文献[2]中给出的在空域上进行直方图均衡化加维纳滤波器技术及在频域上进行的小波和同态滤波器技术进行对比度增强的方法。Brown 分析了表示小波变换的增强方法, 并且提出了一种自适应小波增强算法^[3]。但此类算法只增强了分解的小波系数, 因而处理对比度极低的水下图像时, 对比度增强得不够。

针对上述问题, 给出了一种充分利用小波多尺度变换能力的水下图像增强方法, 其中噪声集中的低尺度子带图像的对比度增强程度小于高尺度子带图像, 分解的尺度系数也被增强; 在各尺度子带图像中, 将增强过程集中于边缘区域。

1 处理原则的提出

水对光的吸收在不同的光谱区域是不同的, 具有

收稿日期: 2007-07-08

基金项目: 安徽省自然科学基金资助项目(2006KJ081B) 安徽安庆科技重点攻关资助项目(200512)

作者简介: 江晋剑(1977-), 男, 安徽枞阳人, 讲师, 研究方向为数字图像处理、嵌入式系统应用。

明显的选择性,造成了水下彩色摄像比较困难,所以水中远距离目标成像多采用灰度图像的方式^[2]。因此,本方法主要是对灰度图像进行对比度增强处理。关键在于增强图像的边缘高频信息,抑制噪声的放大^[4]。同时,研究和实验表明,图像中的噪声的可见度随图像区域中空间活动性增加而单调下降。这里所谓的空间活动性指的是图像区域内灰度空间变化率^[5]。这两点对于本方法来说是至关重要的。据此,提出如下的实现原则:在黑区域具有比亮区低的增强幅度,在结构化(边缘)区域集中增强。

2 基于小波的图像增强方法

2.1 图像的小波变换

小波变换的多分辨率分析是将信号按由精细到粗糙的级别进行分解,在第 1 级分解中,用理想低通滤波器 H_0 和理想高通滤波器 H_1 将信号频带 V_0 分解成两个子空间 V_1 和 W_1 ,其中 V_1 为低频空间, W_1 为高频空间,且 V_0 是 V_1 和 W_1 的直和,可记做 $V_0 = V_1 \oplus W_1$;在第 2 级分解中,同样用 H_0 和 H_1 将 V_1 分解成低频子空间 V_2 和高频子空间 W_2 , V_1 是 V_2 和 W_2 的直和,同理可以继续对 V_2, V_3, \dots, V_{J-1} 分解,得到不同级别下的低频和高频子空间,最后有

$$V_0 = V_1 \oplus W_1 = V_2 \oplus W_2 \oplus W_1 = \dots = V_J \oplus W_J \oplus W_{J-1} \oplus \dots \oplus W_2 \oplus W_1$$

上述算法推广到二维情形,可对图像的每一行和每一列分别进行变换,最后得到代表了原图不同频率特性和方向特性的 4 个子图,如图 1 所示。

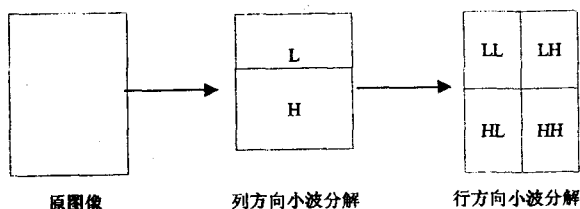


图 1 图像二维小波变换

其中 LL 是行和列上的低频分量, LH 是水平边缘细节, HL 是垂直边缘细节, HH 是对角线方向(45°)上的边缘细节,故 LL 就是 V_1 , 而高频子空间由 LH、HL 和 HH 这 3 部分共同组成。由于边缘和噪声属于图像的高频信息,而信号基本上属于低频信息。对 4 个子图的小波分解系数均取绝对值, $|LL|$ 为低频分量, $|LH|$ 为水平和对角线上的边缘细节, $|HL|$ 为垂直和对角线上的边缘细节, $|HH|$ 为对角线上的边缘细节。

2.2 基于小波的非线性对比度增强

常用的对比度增强方法是使用非线性函数来映射各级小波系数,由于图像分解得到的小波系数对应于

不同尺度上的细节分量,该方法能有效地提升细节分量间的对比度,并且能根据系数值调节提升幅度^[6]。文中也使用该方法来实现增强的目的,但不同于常用方法的是,文中的应用背景要求增强的水下图像对比度极低,因而方法中上述增强过程应作用于小波分解得到的尺度系数和各级小波系数。增强过程可以表示如下:

$$y_j^i = H(y_j^i) = L^i \cdot M_j^i \cdot f_{i,j}(\frac{y_j^i}{M_j^i}) \quad (1)$$

其中

$$f_{i,j}(x) = K_{i,j} [\text{sig}(C_{i,j}(|x| - b_{i,j})) - \text{sig}(-C_{i,j}(|x| + b_{i,j}))] \quad (2)$$

$$K_{i,j} =$$

$$\frac{1}{[\text{sig}(C_{i,j}(1 - b_{i,j})) - \text{sig}(-C_{i,j}(1 + b_{i,j}))]}$$

M_j^i 为尺度 i 和方向 j 上的小波或尺度系数中的最大模值, $\text{sig}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$; L^i 是随 i 单调下降的增益常数,用来增强各尺度信号的能量,它是最为重要的参数;参数 $b_{i,j}$ 用来控制增强曲线的临界点它应保证 y_j^i 中大部分的系数得到增强,故令

$$b_{i,j} = \frac{1}{(N^i)^2 \cdot M_j^i} \sum_{n_1=1}^N \sum_{n_2=1}^N |y_j^i(n_1, n_2)|$$

$$c_{i,j} \propto \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(N^i)^2} \sum_{n_1=1}^N \sum_{n_2=1}^N (\frac{|y_j^i(n_1, n_2)|}{M_j^i} - b_{i,j})}}$$

用来控制增强曲线的形状,其中 N^i 为 i 尺度子带图像的大小。

2.3 基于多尺度的边缘区域提取

图像各尺度上的小波系数都提供一定的边缘信息,在小尺度上的边缘细节丰富且定位精度高,但噪声影响明显,大尺度上的边缘受噪声影响小将它们结合起来能得到较为准确的边缘区域,一个常用方法是根据位置和相位差异来寻找各尺度间相应模极值点^[7]。但实验表明噪声等因素会使得相邻尺度上对应模极值点的相位差异较大,此方法不适用于文中的应用场合。另外,方法目的是增强图像,需要的是图像中所有的边缘区域细节,而不是精确的单像素宽度的边缘,而全局阈值的方法会丢失部分区域^[8]。故方法如下提取边缘区域:根据各尺度子带图像的模图像簇 $u^i(n_1, n_2)$ 和相位图像簇 $a^i(n_1, n_2)$ 确定模极值图像簇 $M^i(n_1, n_2)$;而后从最大的尺度 i_{\max} 开始,先找到 $M^i(n_1, n_2)$ 中确定的边缘点在 $M^{i+1}(n_1, n_2)$ 中的对应点,而后在以该点为中心,大小为 ω_1 的窗口中将大于阈值 $T^{i+1}(n_1, n_2)$ 的点作为尺度 $i+1$ 的边缘点。重复这一

过程直到最小的尺度 1, 边缘区域则由边缘点及其邻域组成。

3 基于原则的对比度增强原理

前述的原则要求灰度低的区域内的对比度增强程度应小于灰度高的区域, 小波分解得到的低频子带图像 y_L^0 则提供了图像不同区域的平均灰度信息, 因而方法利用 y_L^0 来控制各子带图像 y_j 的增强程度。文中使用式(3)所示的函数来实现此目的。式(3)中 $S \in [0, 1]$ 用来控制不同亮度区域增强程度的差别, 越小差别就越小。

$$E(z) = \frac{\text{sig}(c(z+b)) - \text{sig}(-c(z-b))}{\text{sig}(c(1-b)) - \text{sig}(-c(1+b))} \cdot S + 1 - S \quad (3)$$

z 为归一化的 y_L^0 中的值, 其他参数作用类似于非线性增强的函数 $f(x)$ 中的对应参数, 文中 $b = 0.4, c = 17, S = 0.3$ 。

本方法将非线性增强过程作用于尺度系数和各小波系数中的边缘区域, 前者目的在于增强图像整体的对比度, 后者一方面增强了细节的对比度, 另一方面抑制了噪声过增强。同时, 将式(4)作用于各小波系数增强后的结果, 以反映文中的原则要求。该过程可总结如式(4)所示:

$$\begin{cases} \hat{y}_j(n_1, n_2) = \\ \begin{cases} H(y_j(n_1, n_2) \cdot E(s(n_1, n_2)))R(n_1, n_2) = 1 \\ y_j(n_1, n_2)R(n_1, n_2) = 0 \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

上式中 R 表示用文中的方法在各尺度上求得的边缘区域, 其值为 1 的点表示边缘区域, 反之则不是。 $s(n_1, n_2)$ 表示高通子带图像中位置 (n_1, n_2) 对应的低通子带图像的归一化值。

4 实验结果与分析

通过对真实采集的水下图像进行处理后的一组结果图的比较, 来说明方法的性能, 图像皆为 200×200 大小的 8bit 图像。图 2 是使用带微光的水下 CCD 在光照条件很差的深水水域实拍的原图; 图 3 是文中采用方法的结果。



图 2 深水水域实拍的原图 图 3 文中方法的结果

从图 3 可以看到文中方法也能够有效地增强原图的对比度, 且带来的噪声过增强很不明显, 这是由于本方法前述原则造成的。在图 4 中可以清楚地看出, 文中方法能增强输入图像的每个像素, 在进行信号增强的同时有效抑制了噪声的增强, 因而增强结果表现得较为平滑。

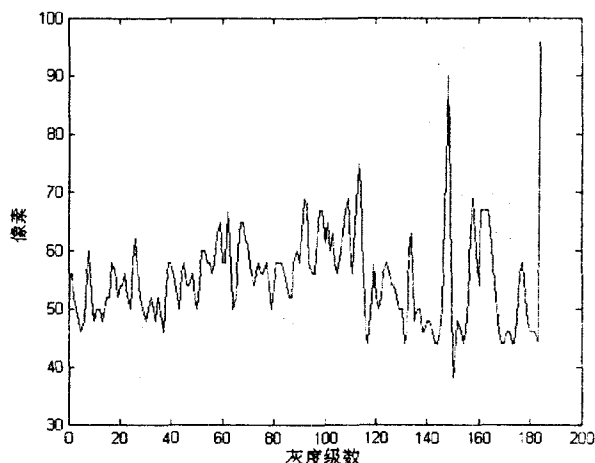


图 4 文中方法的结果图

可以看到, 由于该方法只增强各尺度的小波系数, 因而结果图中的对比度并没有得到多大改变, 这说明了文中采用的方法对极低对比度、强噪声水下图像进行增强的有效性。

5 结 语

由实验结果可以看出, 将一种充分利用小波变换能力的增强方法, 应用到水下图像处理中, 得出了比较满意的结果。另外, 选择合适的小波基函数, 对于低对比度的图像这种方法也能得到很好的增强效果。

参考文献:

- [1] 彭复员, 余西, 武林, 等. 基于分形特征的水下图像模糊分类[J]. 仪器仪表学报, 2005, 8(8): 654-656.
- [2] 刘维. 基于边缘的水下图像处理算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2003: 64-69.
- [3] Brown T J. An adaptive strategy for wavelet based image enhancement[C]// In: Proceedings of Irish Machine Vision and Image Processing Conference. Helfast, Northern Ireland: [s. n.], 2000: 67-81.
- [4] 黄凯奇, 王桥, 吴镇扬, 等. 基于人眼视觉特性的多尺度彩色图像增强算法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 11(8): 1242-1247.
- [5] Li T L, Sundarehan M K. Adaptive image contrast enhancement based on human visual properties[J]. IEEE Trans Medical Imaging, 1994, 13(4): 573-586.
- [6] Zhong X L, Laine A F. Speckle reduction and contrast en-

句中属性的数量、聚集表达式中属性的数量。

表 1 查询特点

	关系数量	投影属性数量	聚集属性数量
Q3	3	4	1
Q12	2	3	2

现在根据图 3 中的数据计算重写查询的负载,采用 $(Tr - To)/To$ (Tr 表示重写查询时间, To 表示初始查询时间)公式来计算,对于 Q3 重写查询负载是 0.73,对于 Q12 重写查询负载是 0.64。从图 3 上也可以看出重写查询比初始查询执行时间要长,这主要是因为 在重写查询中多了 Filter 子查询,Filter 中有较耗时间的 2 个连接查询。另外,因 Q3 语句中的关系数量比 Q12 要多,所以 Q3 的执行时间比 Q12 要长。虽然重写查询比初始查询执行时间要长,但是还在可接受的范围内,因此该查询重写方法是可行的。

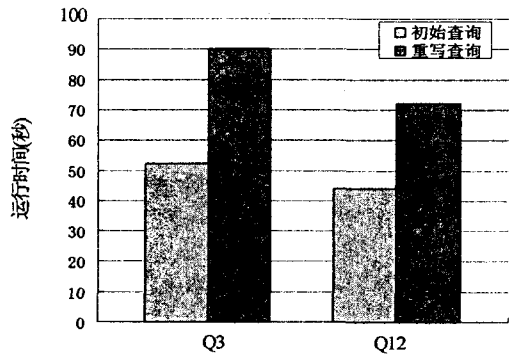


图 3 查询 Q3 和 Q12 在 1G 数据库上的执行时间

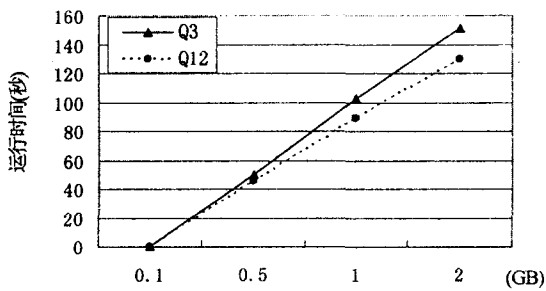


图 4 Q3 和 Q12 在不同大小的数据库上的执行时间

图 4 中所显示的是 Q3 和 Q12 在不同大小数据库 (分别采用 0.1GB、0.5GB、1GB、2GB 的数据库)上运行的时间。重写查询 Q3 和 Q12 的运行时间随数据库的大小变化而变化,另外,因 Q3 中存在对几个不同属性

进行分组操作,而 Q12 实际只对同一个属性进行分组操作,所以重写查询 Q3 执行时间比 Q12 要长。

4 结 语

基于非一致性关系数据库的选择连接 (SPJ) 查询技术已日趋成熟。文中在此基础上进一步扩展了 SPJ 的聚集查询重写策略,提出了基于非一致性数据库多个关系上的聚集查询重写方法 RewriteAgg(q, Σ)。该方法先通过查询出多关系上的一致性结果,然后进行分组聚集,最终实现返回聚集表达范围边界值。RewriteAgg(q, Σ) 方法成功实现了在具有复杂关系的非一致性数据库中进行 SPJ 聚集查询的目的。实验采用 TPC-H 决策支持基准进行性能研究,实验结果表明重写查询比初始查询的执行时间要长,但还在可以接受的范围之内,因此该方法是有效的。下一步的工作需要提高聚集重写查询执行性能,进一步扩展聚集查询的适用范围。

参考文献:

[1] Arenas M, Bertossi L, Chomicki J. Consistent Query Answers in Inconsistent Databases [C]// In PODS. Philadelphia, USA: [s. n.], 1999: 68 - 79.

[2] Arenas M, Bertossi L, Chomicki J. Scalar Aggregation in FD - Inconsistent Databases [C]// In ICDT. London, UK: [s. n.], 2001: 39 - 53.

[3] Chomicki J, Marcinkowski J, Staworko S. Hippo: A System for Computing Consistent Answers to a Class of SQL Queries [C]// In EDBT. Heraklion, Crete: [s. n.], 2004: 841 - 844.

[4] Eiter T, Fink M, Greco G, et al. Efficient Evaluation of Logic Programs for Querying Data Integration Systems [C] // In I-CLP. Mumbai, India: [s. n.], 2003: 163 - 177.

[5] Fuxman A, Fazli E, Miller R J. ConQuer: Efficient Management of Inconsistent Databases [C] // In ACM SIGMOD. Baltimore, Maryland: [s. n.], 2005: 155 - 166.

[6] Fuxman A, Miller R J. First - Order Query Rewriting for Inconsistent Databases [C] // In ICDT. Edinburgh, UK: [s. n.], 2005: 337 - 351.

(上接第 39 页)

hancement of echocardiograms via multiscale nonlinear processing[J]. IEEE Trans Medical Imaging, 1998, 17(4): 532 - 540.

[7] Mallat S, Hwang W L. Singularity detection and processing with wavelets[J]. IEEE Trans Information Theory, 1992, 38(2): 617 - 643.

[8] Laine A F, Schuler S. Mammographic feature enhancement by multiscale analysis[J]. IEEE Trans Medical Imaging, 1994, 13(4): 725 - 740.