

文章编号: 0258-7025(2007)08-1064-05

区域指导的激光水下图像插值算法

符祥, 郭宝龙

(西安电子科技大学机电工程学院智能控制与图像工程研究所, 陕西 西安 710071)

摘要 提出了一种区域指导的激光水下图像插值算法(简称 AIU)。AIU 算法首先采用小波变换,对低频成分进行特殊处理,以抑制散斑噪声和增强关注的目标;然后将图像分割成目标区域和背景区域,结合近邻法和众数法确定待插值点所属区域,对区域内部点采用线性插值;对于区域间的过渡点,设计非线性插值公式,对与待插值点属于同一区域的邻域像素,分配较大的权值,对相邻区域的邻域像素分配较小的权值。实验结果表明,AIU 算法可以克服传统插值算法的边缘模糊问题,使目标更完整清晰。

关键词 图像处理;水下目标;区域指导;小波变换;非线性插值

中图分类号 TP 391 **文献标识码** A

Area-Directed Interpolation Algorithm for Underwater Laser Image

FU Xiang, GUO Bao-long

(*Institute of Intelligent Control and Image Engineering,*

School of Mechano-Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract An area-directed interpolation algorithm for underwater laser image (AIU) was proposed. Firstly, wavelet transform was performed on the low-frequency components to remove speckle noise and enhance image quality. Then an image was segmented into object area and background area. And whether an interpolated pixel belonged to the object region or not was decided by an approach combining the method of nearest neighbor and statistical mode. The points in the same area are interpolated linearly. For transition pixels between different areas, nonlinear interpolation formulas were designed. Large weights were assigned to neighboring pixels belonging to the same area with the interpolated pixel in the nonlinear formulas, while the neighboring pixels in the different area with the interpolated pixel were assigned with little weights. By choice of different weights, the contrast between object and background can be adjusted to obtain clear object and facilitate object discover and observation. Experiments demonstrate that this method is efficient and feasible.

Key words image processing; underwater target; area-directed; wavelet transform; nonlinear interpolation

1 引言

在研究激光水下目标探测系统的过程中发现,实际应用中,尤其是在军事领域,如潜艇探测敌方目标时,出于安全性考虑,激光成像距离较远。当拍摄距离较远或目标较小时,激光图像中的目标较小,不便于对目标进行识别,因此希望得到高分辨率和高质量的图像。图像插值是一种经济且有效的方法。

图像插值是图像处理领域的一个基本问题,经典的图像插值算法如近邻插值、双线性和双三次插值等的结果过于平滑,损失了较多边缘特征,从而使整幅图像视觉效果模糊。因此又出现了许多边缘保护的插值方法^[1,2],这类方法对于普通条件下的图像,可以得到较好的插值结果。但是,由于激光水下图像普遍存在严重的噪声干扰,目标与背景对比度低,目标边界模糊,所以利用基于边缘的方法对激光

收稿日期: 2007-01-15; **收到修改稿日期:** 2007-03-01

基金项目: 国家自然科学基金(60572152), 国家 863 计划(2006AA01Z127)和陕西省自然科学基金(2005F26)资助项目。

作者简介: 符祥(1979—),男,土家族,湖北人,博士研究生,主要从事数字图像处理、计算机视觉等方面的研究。

E-mail: fxfb163@163.com

导师简介: 郭宝龙(1962—),男,陕西人,教授,博士生导师,主要研究领域为模式识别与智能系统、图像处理和图像通信等。E-mail: blguo1199@163.com

水下图像插值得不到好的效果。

本文以费佩燕等^[3]提出的基于统计对消的激光水下图像目标提取算法(SC 算法)得到的目标区域为基础,提出了一种基于区域指导的激光水下图像插值算法(以下简称 AIU)。AIU 算法采用小波变换对图像进行预处理,以抑制散斑噪声和增强图像,然后将图像分割成目标和背景区域;利用近邻法^[4]和众数法^[5]明确判断插值点属于目标区域还是背景区域,对像素进行分类处理。对区域内的点进行线性插值,而对于区域间的过渡点进行非线性插值。由于过渡点的邻域像素包括两部分,一部分与待插值点属于同一区域,对计算待插值点的值贡献较大,另一部分与待插值点属于不同区域,对计算待插值点的值贡献较小。本文非线性插值公式按照贡献大小给邻域像素分配不同的权值,保持或增大区域间的对比度。

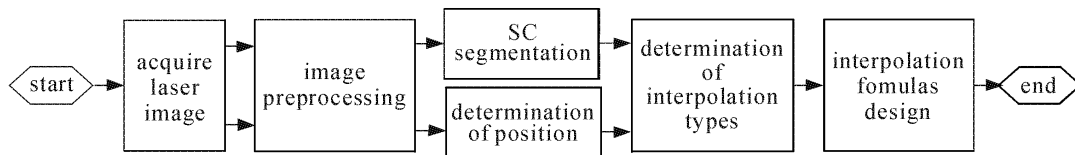


图 1 区域指导的插值算法框图

Fig. 1 Block diagram of the proposed AIU algorithm

2.1 图像预处理

由于海水中悬浮有大量的各种微粒,对激光器的后向散射作用十分严重。虽然采用距离选通或同步扫描技术克服后向散射,但成像质量仍然不好,图像中仍然存在主要由后向散射形成的散斑噪声。这些散斑噪声的存在使图像灰度变化剧烈,降低了图像的可视质量,破坏了图像的细节。小波变换可以抑制图像噪声,同时增强关注的目标^[3]。

实际处理过程中,采用相同距离下的水下图像 F 和无目标图像 G (即背景图像),并结合小波分析法来完成图像的去噪和增强处理,具体过程为:

- 1) 读取水下图像 F 和背景图像 G ;
- 2) 分别进行一级小波分解,获得 $F_{LL}, F_{LH}, F_{HL}, F_{HH}$ 和 $G_{LL}, G_{LH}, G_{HL}, G_{GH}$, 其中 F_{LL} 和 G_{LL} 为图像的逼近, $F_{LH}, F_{HL}, F_{HH}, G_{LH}, G_{HL}, G_{HH}$ 分别为图像的细节信息;
- 3) 取 F_{LL}, G_{LL} , 求二者的绝对差 DF_{LL} ;
- 4) 将 DF_{LL} 采用传统图像插值放大 4 倍, 记为 f , 即预处理的输出图像, 用来进行后续处理。

由于视觉敏感的信息绝大部分都集中在小波变换的低频信息区 F_{LL} 和 G_{LL} , 而且这一区域的图像表

研究发现,传统插值方法造成图像模糊的主要原因在于待插值的边缘点所属区域不明确,从而对边缘点进行模糊处理;AIU 算法利用近邻法和众数法明确判断了边缘点所属区域,以区域为指导对待插值点分类处理,因而可以避免传统插值方法造成的目标模糊,得到的插值图像效果较好。

2 插值原理

由于激光水下图像普遍存在目标边界模糊的特点,若利用常规的方法插值,其效果不理想。由于可以检测到较准确的目标区域,因此以区域的一致性为指导,提出了 AIU 算法。此算法的流程图如图 1 所示,主要包括五步:图像预处理、区域分割、确定插值位置、确定插值类型和设计插值公式。

现具有使重要信息更加突出的效果,因而可以增强关注的目标。但是,这一处理过程中,舍弃了 F_{LH}, F_{HL}, F_{HH} 和 G_{LH}, G_{HL}, G_{HH} , 这些信息中含有大量的细节信息,而散斑噪声信息的相当一部分就分布在其中,所以舍弃这些信息,可以达到降噪的目的。虽然此法会造成目标细节信息的一定损失,但 AIU 算法插值图像的细节主要由分割的区域来保持,就实验结果来看,其对增强目标区域是有利的。

2.2 区域分割

SC 激光水下图像目标提取算法首先利用小波变换进行图像增强,然后根据相同统计规律噪声可以对消的原理,利用无目标的噪声图像提出噪声特征,去抵消掉目标图像中的噪声,达到图像去噪增强的目的,最后利用自适应门限法对图像进行分割。SC 算法可以很好地去掉散斑噪声,有效分割图像中的目标,算法的详细过程参见文献[3]。

区域分割的结果用 L 表示, $L(A)$ 表示 A 点的标记, $L(A) = 0$ 表示 A 点属于背景区域,否则属于目标区域,SC 算法的分割结果例子如图 4(b) 所示。

2.3 判断插值位置

原始图像经预处理后为 f , 放大的比例是 S_H 和

S_V (S_H 和 S_V 均为任意实数)。插值后图像 F 中像素的位置记为 (I, J) , 其所对应的原图像中的位置为 (x', y') , 则它们的关系为^[6]

$$x' = I/S_H, \quad y' = J/S_V, \quad (1)$$

令 $x = \text{floor}(x'), y = \text{floor}(y'), dx = x' - x, dy = y' - y$ 。其中 $\text{floor}(x)$ 表示不超过 x 的最大整数, 可以看出, 有 $0 \leq dx, dy < 1$ 。如图 2 所示, 则 (x', y') 在原图中可能位于:

- 1) 点 A : 如果 dx, dy 均为 0;
- 2) e, f, h 或 i 区域: 如果 dx, dy 之一不为 0;
- 3) g 区域: 如果 dx, dy 均不为 0。

插值算法的目的, 就是要求原始图像 (x', y') 处的像素值 $f(x', y')$ 满足 $F(I, J) = f(x', y')$ 。

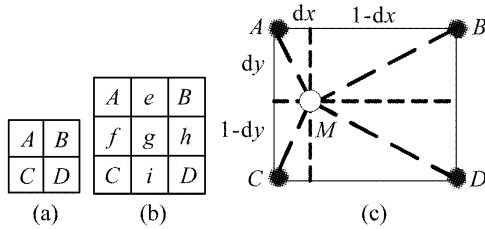


图 2 插值原理示意图

- (a) 原始图像像素; (b) 可能的插值位置;
(c) 待插值点与原始图像中邻域点的关系

Fig. 2 Principle of image interpolation

- (a) pixels in the original image; (b) possible interpolation positions; (c) relationship between interpolated point and neighboring points in the original image

2.4 确定插值类型

现在可以根据已经得到的区域分割结果和插值点的位置确定插值类型, 将插值类型分为两种: 区域内插值和区域间过渡插值。如果插值点位于 e 区域, 如图 2(b) 所示, 按照区域分割结果, 当 A 和 B 属于同一区域时, 为区域内插值, 否则为过渡插值; 插值点位于 f, h 和 i 区域的判断方法相似。如果插值点位于 g 区域, 当 $ABCD$ 四点都属同一区域时, 为区域内插值, 否则为过渡插值。AIU 算法对区域内插值类型采用线性插值, 而过渡插值类型采用非线性插值。

2.5 设计插值公式

在确定了插值类型后, 可分为七种情况设计插值公式, 如图 3 所示。

Case ①: 待插值点对应于点 A , 直接取 A 点的值。

Case ②④: 待插值点位于区域 e 或 f , 有两个邻域且属于同一区域, 故插值类型为区域内插值, 此时可用线性插值法计算待插值点的值。以待插值点位

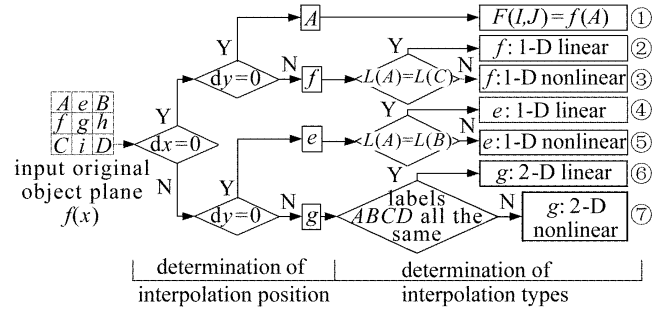


图 3 区域指导的插值算法流程图

Fig. 3 Flowchart of the proposed AIU algorithm

于 e 为例, 即 $dy = 0$, 两个邻域为 AB , 有一维线性插值公式

$$F(I, J) = f(A)(1 - dx) + f(B)dx. \quad (2)$$

权值与待插值点到 AB 两点的距离成反比, 如图 2(c) 所示。如果待插值点位于 f 区域, 可以利用类似公式计算待插值点的值。

Case ⑥: 待插值点位于区域 g , 它有四个邻域且属于同一区域, 此时需要将一维线性插值公式推广到二维。为了简化计算, 以两条直角边之和近似斜边, 如图 2(c), 待插值点 M 到点 A 的距离近似为 $dx + dy$, 作为对角点 D 的权值, 则有二维线性插值公式

$$F(I, J) = [f(A)(2 - dx - dy) + f(B)(1 - dy + dx) + f(C)(1 - dx + dy) + f(D)(dx + dy)]/4, \quad (3)$$

式中为了保证求得的像素值在正确的范围内取值, 除以权值之和 4。

以上四种情况待插值点位于区域内部, 采用线性插值计算待插值点的值。接下来三种情况待插值点属于区域间的过渡点, 我们设计非线性插值公式计算当前点的值。本文非线性插值算法的关键在于利用近邻法和众数法明确判断插值点属于目标区域还是背景区域, 其中近邻法就是选择原始图像中与当前点最近的像素; 众数法是选择一组数据中发生次数最多的值, 两种方法都是在邻域中选择可能性最大的值。

Case ③⑤: 待插值点位于区域 e 或 f , 有两个邻域但属于两个不同区域, 故插值类型为过渡插值, 此时需要用非线性插值法计算待插值点的值。仍以待插值点位于 e 为例, 用近邻法确定待插值点所属区域, 可以将一维线性插值公式(2) 推广成为一维非线性形式

$$F(I, J) = [f(A)(1 - dx)^a + f(B)dx^a] / [(1 - dx)^a + dx^a], \quad (4)$$

其中指数 $a > 1$, 分母是权值之和。由于有 $0 \leq dx, 1 - dx < 1$, 且 $a > 1$, 式(4) 是表示对同一区域, 即距离较近的邻域像素赋较大的权值, 体现区域的一致性, 增大 a 的值, 可以增大目标与背景间的对比度。对于点 f, h 和 i , 可以得到类似的公式。

Case ⑦: 待插值点位于区域 g , 它的四个相邻像素不属于相同区域。此时, 需要将(4) 式的一维非线性公式推广到二维形式。按照 $ABCD$ 四点的区域标记 $L(x)$, 分以下三种情况:

1) $ABCD$ 四点标记均不相同, 说明插值点位于四个区域相交的过渡区域。此时根据近邻法判断插值点所属区域, 区域标记为 k ;

2) $ABCD$ 四点中有两点标记相同, 又可分为两种情况: 一是另两点标记不相同; 二是另两点标记也相同。对第一种情况, 根据众数法判断插值点所属区域; 第二种情况下, 众数法失效, 根据近邻法判断插值点所属区域。两种情况下插值点所属区域的标记均记为 k ;

3) $ABCD$ 四点中三点标记相同为 k , 此时根据众数法认为待插值点的标记也为 k 。

以上三种情况, 二维非线性插值公式定义为

$$F(I, J) = \frac{f(A)w(A) + f(B)w(B) + f(C)w(C) + f(D)w(D)}{[w(A) + w(B) + w(C) + w(D)]}, \quad (5)$$

其中

$$\begin{aligned} w(A) &= (2 - dx - dy)b^x(L(A) == k) \\ w(B) &= (1 - dy + dx)b^x(L(B) == k) \\ w(C) &= (1 - dx + dy)b^x(L(C) == k) \\ w(D) &= (dx + dy)b^x(L(D) == k), \end{aligned}$$

其中 b^x 表示 b 的 x 次方, $L(A)$ 为 A 点的区域标记, $m == n$ 表示当 m 与 n 相等时取 1, 否则取 0, 当 b 大于 1 时, 式(5) 表示对属于同一区域的相邻像素赋予的权值扩大 b 倍, 体现区域的一致性, 增大 b 的值, 可以增大目标与背景间的对比度。分母同样是权值之和。

3 实验结果与分析

图 4(a) 为一悬浮在水中的三角形铁板所呈现出的图像, 光照条件为蓝绿激光。由原始图可以看出, 目标几乎淹没在背景噪声中, 加上目标较小, 给发现和识别带来较大难度。图 4(b) 为采用 SC 算法得到的目标分割图像。图 4(c) 为采用 sobel 算子获

得的原始图的边缘信息, 从边缘信息可以看出: 用基于边缘的图像插值算法很难得到好的效果。图 4(d) 是原始图进行阈值化二值处理的结果, 阈值为 100。

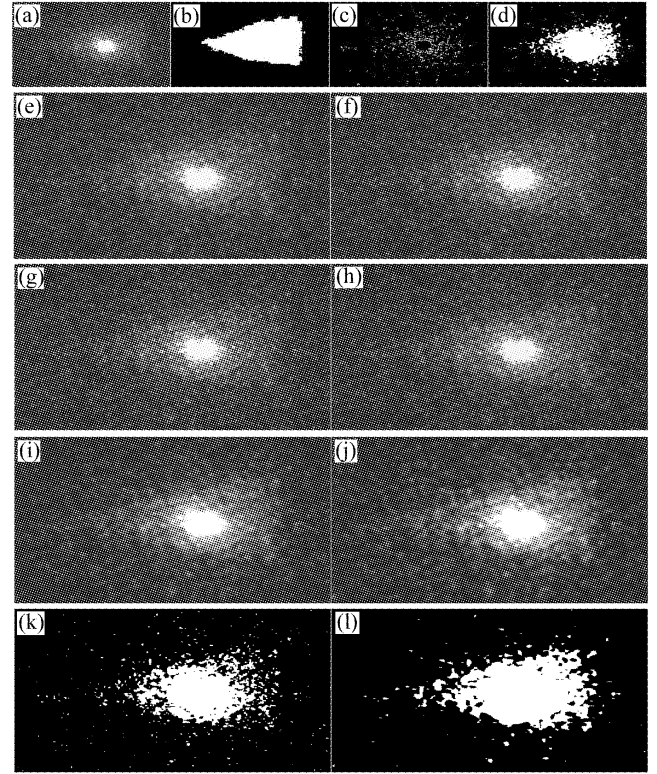


图 4 部分实验结果图像

(a) 水下目标图像; (b) SC 法分割图 (a); (c) 图 (a) 的边缘图; (d) 门限法分割图 (a); (e) 双线性法放大 4 倍; (f) 双三次插值法放大 4 倍; (g) 样条插值法放大 4 倍; (h) AIU 将含噪源图像放大 4 倍 ($a = 5, b = 5$); (i) AIU 将增强图像放大 4 倍 ($a = 2, b = 2$); (j) $a = 5, b = 5$; (k) 门限法分割图 (e); (l) 门限法分割图 (j)

Fig. 4 Some experimental images

(a) image of underwater object; (b) segmentation Fig. 4(a) with SC; (c) edge of Fig. 4(a); (d) segmentation Fig. 4(a) with threshold 100; (e) bilinear interpolation 4 times; (f) bicubic interpolation 4 times; (g) spline interpolation 4 times; (h) AIU interpolation the original noisy image 4 times with $a = 5$ and $b = 5$; (i) AIU interpolation the preprocessed image 4 times with $a = 2$ and $b = 2$; (j) $a = 5$ and $b = 5$; (k) segmentation Fig. 4(e) with threshold 100; (l) segmentation Fig. 4(j) with threshold 100

图 4(e)~(g) 分别为采用双线性插值法、双三次插值法和样条插值法将图像放大 4 倍的结果, 可见对于激光水下图像, 传统图像插值方法间区别不大, 取得的效果都不太理想; 图 4(h) 是 AIU 算法以图 4(b) 的分割区域为指导, 取 $a = 5, b = 5$ 时, 对原始含噪图像插值得到的图像。可以看出, 由于严重的噪声干扰, 算法插值效果与传统插值方法相当, 没有明显的改进; 采用 AIU 算法取 $a = 2, b = 2$ 和 $a =$

5, $b = 5$ 时,对经过去噪和增强预处理的图像插值结果分别如图 4(i)和 4(j)。可以看出,随着两个参数的增大,目标区域和背景区域间的对比度也随之增加,目标更清晰,有利于对目标的观察和识别;由于激光具有良好的单向特性,所以当遇到密度较大的阻挡物质时,就在图像中呈现一个较亮的光斑,同时,这一光斑的存在也说明激光投射的区域有较大物质存在^[3]。图 4(j)中的亮斑比图 4(e)~(g)中大许多,因而利于我们发现物质的存在,并对其进行观察和识别。

图 4(k)和图 4(l)为直接对图 4(e)和图 4(j)进行阈值化二值处理的结果,阈值为 100。可以看出,AIU 算法对区域内进行线性平滑,使得背景区域和目标区域内噪声较少;AIU 算法的目标轮廓更加完整,这是因为 AIU 算法明确判断边缘点所属区域,克服了线性方法由于边缘点不明确而造成原边缘模糊。将图 4(k)和图 4(l)分别与图 4(d)进行比较,图 4(l)与图 4(d)分布十分接近,可见 AIU 算法结果最大限度地保留了原图像主要特征,但目标更清晰完整。

4 结 论

采用 AIU 算法对水下图像进行插值放大,实验表明是有效可行的。其具体特点有:1) 明确判断区域间的过渡像素所属区域,设计非线性插值公式,对

与待插值点属于同一区域的邻域像素,分配较大的权值,体现区域的一致性,从而克服传统图像插值方法由于边缘点所属区域不明确造成的模糊;2) 增大权值可以使目标与背景间的对比度相应增加,目标更清晰,利于对其观察和识别;3) AIU 算法在使目标区域更加清晰和完整的同时,最大限度地保留了原图像的主要特征,有利于图像的进一步应用和处理,如图像检索、图像匹配等。

参 考 文 献

- 1 S. Grace Chang, Z. Cvetkovic¹, M. Vetterli. Locally adaptive wavelet-based image interpolation [J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2006, **15**(6):1471~1485
- 2 Qing Wang, Rabab Ward, Jiancheng Zou. Contrast enhancement for enlarged images based on edge sharpening [C]. ICIP'05. Genoa: IEEE, 2005. 762~765
- 3 Fei Peiyan, Guo Baolong, Meng Fanjie *et al.*. Target extraction of underwater laser image based on statistic counteraction [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(7):815~819
费佩燕,郭宝龙,孟繁杰等. 基于统计对消的激光水下图像的目标提取法[J]. *中国激光*, 2004, **31**(7):815~819
- 4 Q. A. Salih, A. R. Ramly. Multi-scale zooming of medical image using bicubic filter [C]. Student Conf. on Research and Development, Shah Alam, Malaysia: IEEE, 2002. 356~359
- 5 A. Shamir, L. Shapira, D. Cohen-Or. Mesh analysis using geodesic mean-shift [J]. *The Visual Computer*, 2006, **22**(2):99~108
- 6 Sun Qingjie, Zhang Xiaopeng, Wu Enhua. A method of image zooming-in based on Bézier surface interpolation [J]. *Journal of Software*, 1999, **10**(6):570~574
孙庆杰,张晓鹏,吴恩华. 一种基于 Bézier 插值曲面的图像放大方法[J]. *软件学报*, 1999, **10**(6):570~574