

二代小波变换的抗噪 Otsu 图像分割方法

王海峰, 章怡, 蒋益锋

(江苏理工学院 信息中心, 江苏 常州 213001)

摘要:针对一维、二维最大类间方差(Otsu)方法分割含噪声图像时分割效果不佳、抗噪性不足的问题,提出了一种二代小波变换的抗噪 Otsu 图像分割方法.算法通过二代小波变换,在小波域中对目标与背景的噪声进行抑制后再计算最大类间方差进行了研究.实验结果表明该算法是一种抗噪性强、分割效果好的图像分割算法.与现有的二维、三维 Otsu 法相比,算法不仅计算效率高,而且抗噪性能更稳健.

关键词:二代小波变换;峰值信噪比;Otsu 法;图像分割;阈值

中图分类号:TP391

文献标志码:A

图像分割是图像信息处理的基本技术,也是图像理解与模式识别的前提,图像分割有着广泛的应用^[1].在处理医学图像中,图像分割对于人们身体中发生病变器官的三维显示或者对病变位置的确定与分析都起着有效的辅导作用;在路面交通图像的分析应用中,可用图像分割技术从监控或航拍等模糊复杂背景中分离出要提取的目标车辆;遥感图像分割在军事领域的应用也非常广泛,如战略战术的侦查、军事海洋领域的测绘等,高分辨率的遥感图像分割数据可以为自然灾况的监测与评估、地图的绘制与更新、森林资源及环境的监测与管理等提供便利,因此,图像的分割都起着至关重要的作用^[2].

在众多的分割方法中,阈值分割是最为简单有效的图像分割方法之一,其关键在于阈值的选取,常用的几种经典阈值分割方法主要有最大类间方差算法、信息最大熵算法、最小交叉熵算法等^[3-5].其中由日本学者“大津展之”(OTSU)于1978年提出的一维最大类间方差法,又叫大津法(简称 Otsu),其因计算简单、实时性高、鲁棒性强等优点而被广泛使用^[6].由于一维 Otsu 法未考虑像素间的空间相关性,故当图像包含噪声时,一维 Otsu 法的分割效果不佳^[7].对此,范九伦等^[8]提出了二维 Otsu 快速递推法,该方法在提高运算效率的同时考虑了像素的灰度信息和其邻域的空间相关性,改善了一维 Otsu 法的抗噪性.为进一步提高算法的抗噪性,景晓军等^[9]在灰度级一领域平均灰度级基础上,提出了一种二维最大类间方差的图像分割算法,该算法能更好地对含噪图像进行分割.二维 Otsu 法虽然提高了算法的抗噪能力,但当噪声干扰严重时,它们的分割效果仍不够理想.

为解决 Otsu 法在噪声干扰严重时图像分割不理想的问题,本文通过二代小波将原图像进行整数小波变换,在小波域中对目标与背景的噪声进行抑制后并计算最大类间方差.实验结果表明在小波域中的 Otsu 分割方法不但能够很好分割图像而且还能够有效抑制噪声.

1 Otsu 法阈值原理

Otsu 法是一种使类间方差最大的自动确定阈值的方法,该方法具有简单、处理速度快的特点,是一种常用的阈值选取方法^[10].其基本思想如下:设图像像素数为 N ,灰度范围为 $[0, L-1]$,对应灰度级 i 的像素数为 n , 概率为

收稿日期:2017-05-10;修回日期:2017-09-11.

基金项目:江苏省自然科学基金项目(BY2016030-08);江苏省常州市科技计划资助项目(CE20165049).

作者简介(通信作者):王海峰(1977-),男,江苏如皋人,江苏理工学院高级工程师,研究方向为信息隐藏、数字图像处理与分析,E-mail:cjshwhf@jsut.edu.cn.

$$p_i = n_i / N \quad i = 0, 1, 2, \dots, L - 1, \sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1. \quad (1)$$

把图像中的像素按灰度值用阈值 T 分成两类 C_0 和 C_1 , C_0 由灰度值在 $[0, T]$ 之间的像素组成, C_1 由灰度值在 $[T + 1, L - 1]$ 之间的像素组成, 对于灰度分布概率, 整幅图像的均值为:

$$u_T = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i, \quad (2)$$

则 C_0 和 C_1 的均值为:

$$u_0 = \sum_{i=0}^T i p_i / \omega_0, u_1 = \sum_{i=T+1}^{L-1} i p_i / \omega_1, \quad (3)$$

其中

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^T p_i, \omega_1 = \sum_{i=T+1}^{L-1} p_i = 1 - \omega_0. \quad (4)$$

由(1)、(2)、(3)式可得:

$$u_T = \omega_0 u_0 + \omega_1 u_1. \quad (5)$$

类间方差定义为:

$$\begin{aligned} \sigma_B^2(T) &= \omega_0(u_0 - u_T)^2 + \omega_1(u_1 - u_T)^2 = \omega_0(u_0^2 + u_T^2) + u_T^2(\omega_0 + \omega_1) - 2(\omega_0 u_0 + \omega_1 u_1)u_T = \\ &= \omega_0 u_0^2 + \omega_1 u_1^2 - u_T^2 = \omega_0 u_0^2 + \omega_1 u_1^2 - (\omega_0 u_0 + \omega_1 u_1)^2 = \omega_0 u_0^2(1 - \omega_0) + \\ &= \omega_1 u_1^2(1 - \omega_1) - 2\omega_1 \omega_0 u_1 u_0 = \omega_1 \omega_0 (u_1 - u_0)^2, \end{aligned} \quad (6)$$

让 T 在 $[0, L - 1]$ 上依次取值, 使 σ_B^2 最大的 T 值即为 Otsu 法的最佳阈值。

2 二代小波变换原理

在小波变换过程中, 传统小波变换的滤波器输出是浮点数, 而图像的像素值均为整数, 小波提升格式对小波构造提出了一种新的观点, 即小波提升方案 (lifting scheme), 也称之为第二代小波变换。小波提升算法是一种新的双正交小波构造方法, 通过预测算子, 确定高频信息, 并初步确定低频信息, 然后通过更新算子, 对初步确定的低频信息进行修正, 从而确定低频信息^[11]。提升算法作为第二代小波变换的关键技术, 包括 3 个处理步骤: 分解 (Split)、预测 (Predict) 和更新 (Update), 其具体实现方案如图 1 所示。

(1) 分解。将输入信号 s_i 根据奇偶性分解成偶数序列和奇数序列, 分解过程表示为 $F(s_i) = (s_{i-1}, d_{i-1})$; 其中, s_{i-1} 表示低频近似分量, d_{i-1} 表示信号的高频细节分量, $F(s_i)$ 表示为分解过程。

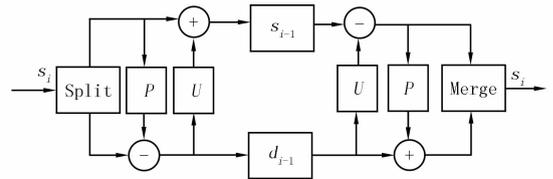


图 1 提升算法的分解与重构

(2) 预测。利用数据间的相关性, 用偶数序列的 s_{i-1} 预测值 $P(s_{i-1})$ 去预测 (或内插) 奇数序列 d_{i-1} , 即将滤波器 P 对偶数信号作用以后作为奇信号的预测值, 奇信号的实际值与预测值相减得到残差信号。实际中, 虽然不可能从子集 s_{i-1} 中准确预测子集 d_{i-1} , 但是 $P(s_{i-1})$ 很接近 d_{i-1} , 因此可以使用 $P(s_{i-1})$ 与 d_{i-1} 的差代替 d_{i-1} , 这样产生的 d_{i-1} 比原来的 d_{i-1} 包含更少的信息, 于是得到 $d_{i-1} = d_{i-1} - P(s_{i-1})$, 这里已经可以用更小的子集 s_{i-1} 和小波子集 d_{i-1} 代替原信号 s_i 。重复分解与预测过程, 经 n 步以后原信号集可用 $\{s_n, d_n, \dots, s_1, d_1\}$ 表示。

(3) 更新。为了使原信号集的某些全局特性在其子集 s_{i-1} 中继续保持, 必须进行更新。为找到更好的子集 s_{i-1} , 使得它保持原图的某一标量特性 $Q(x)$ (如均值、消失矩等不变), 既有 $Q(s_{i-1}) = Q(s_i)$ 。通过算子 U 产生一个更好的子集 s_{i-1} , 使之保持原有信号 s_i 的一些特性, 更新过程表达式为 $s_{i-1} = s_{i-1} + U(d_{i-1})$ 。

图像的小波提升是完全可逆的过程, 其反变换与正变换结构对称、运算相反, 可以实现精确重构。

3 二代小波整数变换的抗噪 Otsu 算法

小波提升算法具有结构简单、运算量低、节省存储空间以及可逆的整数到整数变换等特点,便于硬件实现^[12].算法采用 db1 二代小波整数提升方法对图像进行单层分解,在低频子带小波系数中进行最大类间方差处理,以增强 Otsu 算法抗噪性^[13-15],本文算法具体步骤如下.

- (1) 对待分割图像进行二代小波整数变换单层分解,得到一个整数低频子带 c_a 和三高频子带 (c_h, c_v, c_d) 分解系数;
- (2) 将低频子带 c_a 中负数变为 0 (即 $c_a(c_a < 0) = 0$), 并进行 3×3 均值滤波后取整构成新低频系数 c_{a1} ;
- (3) 求 c_{a1} 的系数最大值 M , 在 $[0, M]$ 区间计算 c_{a1} 类间方差 σ_B^2 , 找出类间方差 σ_B^2 值最大对应的阈值 T ;
- (4) 对 c_{a1} 系数大于 T 的修改为最大值 M , 系数小于 T 的修改为 0, 修改后形成新低频系数子带 c_{a2} ;
- (5) 将三高频子带 (c_h, c_v, c_d) 分解系数全部强制修改为 0, 构成新的高频子带 (c_{h1}, c_{v1}, c_{d1});
- (6) 利用 d_{b1} 二代小波整数重构 $c_{a2}, c_{h1}, c_{v1}, c_{d1}$, 构成分割后图像 W .

经上述方法处理的图像分割,能够很好地将目标从背景中分割出来,而且算法具有很好的抗噪声性能,算法流程图见图 2.

4 实验结果与分析

为对本文方法抗噪的有效性进行验证,本文方法与经典 Otsu 法、文献[3]、文献[4]与文献[9]等中的算法进行比较.实验环境:windows7 系统 Intel Pentium CPU G860,主频 3.0 GHz,内存 4 G,编程语言 MATLAB7.0.实验分为两组:第 1 组实验测试各种算法对带高斯噪声的不同图像的分割结果;第 2 组实验比较各种方法同一图像带不同噪声的分割结果^[16-17].

4.1 第 1 组实验

算法经过了大量图像实验验证,由于本文受篇幅限制,不能对大量图像一一列举,为说明问题,本文只选取了 3 幅具有代表性图像:1 幅分辨率 512×512 正常照度的标准 lena 灰度图像、1 幅分辨率 269×350 处于灰度级比较低的低照度红外灰度图像、另一幅为 500×375 遥感灰度图像(带有干扰噪声),在 3 幅图像中加入均值为 0、方差为 0.03 的高斯噪声,实验中文献[3]与文献[4]算法为一维 Otsu 改进方法,文献[9]为二维 Otsu 改进方法,实验图像如图 3,各种算法分割结果如图 4~8 所示.

从图 4~8 分割视觉效果看,由于 3 种图像中加入 0.03 的高斯噪声的影响,经典 Otsu 方法、文献[3]、文献[4]、文献[9]等方法都未能将图像进行有效分割,视觉上几乎与加噪原图像无明显差异,而本文算法由于预先在算法中加入噪声处理,有效克服了噪声干扰,图像分割效果最好.

4.2 第 2 组实验

为检验本方法抗噪的通用性,将各分割方法分别对加有强度为 0.08 椒盐噪声、0.08 乘性噪声和泊松噪声的实验图像进行分割,测试图像如图 9 所示,各算法的分割结果如图 10~14 所示.

从图 10~14 各种算法对不同噪声图像的分割结果看,经典 Otsu 方法、文献[3]、文献[4]、文献[9]方法分割结果较为接近,都容易受噪声影响,而且 4 种算法特别对乘性噪声与高斯噪声敏感,抗噪性能差.相比较而言,本文方法减弱了噪声的干扰,取得了较好的分割效果,实验表明本文方法具备较强的通用性.

4.3 几种方法分割结果的定量分析

上面是从主观角度分析的结果,下面采用峰值信噪比(PSNR)作为图像分割量化指标(与各方法无噪声

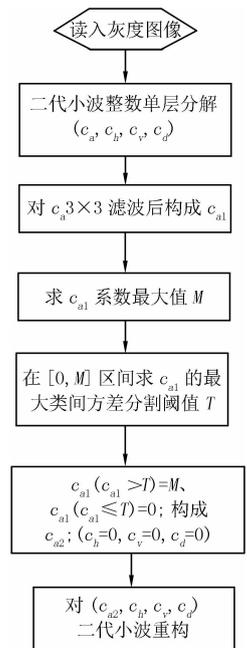


图2 算法流程图

分割时的图像作为参照图像),从客观的角度进行验证几种方法的抗噪性能.表 1 为 3 幅图像带 0.03 强度高斯噪声的分割数据,表 2 为 lena 图像带不同噪声的分割数据.



图 3 0.03 高斯噪声实验图像



图 4 经典 Otsu 方法



图 5 文献 [3] 方法



图 6 文献 [4] 方法



图 7 文献 [9] 方法



图8 本文方法



图9 依次带椒盐、乘性和泊松噪声的 Lena 图像



图10 经典 Otsu 方法



图11 文献 [3] 方法



图12 文献 [4] 方法

从表 1、表 2 中运算时间看,经典 Otsu 方法、文献[3]、文献[4]三者运算速度基本一致,优于文献[9]和本文方法,本文算法运行时间比经典 Otsu 方法要长,主要耗时为小波分解,这是本文算法的弱点.在抗噪声性能方面,本文方法在高斯噪声、乘性噪声和泊松噪声的图像分割的峰值信噪比(PSNR)明显高于前 4 种方法,对椒盐噪声的抑制比前 4 种方法稍差一些.表 1 中本文算法在处理低信噪比的红外图像、遥感图像时,前

4 种的 $PSNR$ 一般在 6~7 dB 左右,而本文方法分割后遥感图像的 $PSNR$ 为 14.22 dB(高出前 4 种方法 2 倍左右),分割的红外图像 $PSNR$ 为 18.48 dB,是前 4 种算法的 3 倍左右,表明本文算法在分割低信噪比图像的抗噪性能最优。



图 13 文献[9]方法



图 14 本文方法

表 1 带高斯噪声的 3 幅图像分割量化数据

方法	lena 图像			低照度红外图像			遥感图像		
	t/s	阈值	$PSNR/dB$	t/s	阈值	$PSNR/dB$	t/s	阈值	$PSNR/dB$
Otsu	0.031	124	6.44	0.016	76	5.89	0.016	121	6.41
文献[3]	0.030	123	6.49	0.015	76	5.92	0.015	121	6.46
文献[4]	0.030	122	6.52	0.015	75	5.96	0.015	120	6.46
文献[9]	0.670	124	7.03	0.265	86	6.95	0.468	124	6.50
本文	0.109	122	9.63	0.031	94	18.48	0.062	127	14.22

表 2 lena 图像带不同噪声的分割数据

方法	椒盐噪声			乘性噪声			泊松噪声		
	t/s	阈值	$PSNR/dB$	t/s	阈值	$PSNR/dB$	t/s	阈值	$PSNR/dB$
Otsu	0.031	117	13.94	0.031	133	6.06	0.031	119	12.15
文献[3]	0.031	117	13.96	0.031	133	6.09	0.031	119	12.13
文献[4]	0.031	116	13.97	0.032	132	6.10	0.031	118	12.26
文献[9]	0.655	117	12.48	0.671	127	7.51	0.655	121	14.35
本文	0.109	121	10.46	0.109	118	11.53	0.109	118	17.21

5 结 论

在实际应用中,图像中难免存在噪声干扰(如低照度红外图像和遥感图像),本文实验结果表明,用一维 Otsu 法往往难以分割出满意的结果,而二维 Otsu 法虽然改善了算法的抗噪性,但与一维 Otsu 法相比效果不大,而且还大大增加了运算时间。从主观上看,本文方法对含不同噪声类型及不同噪声强度的图像均能取得较好的分割效果,说明该算法具备较强的抗噪性和抗噪顽健性;客观上从量化指标上对该算法的分割效果

和抗噪声进行了验证,数据表明该方法运行时间比经典 Otsu 法要长,其耗时原因主要在小波分解环节,这是本文的缺点.定性和定量分析充分说明了本文方法是一种抗噪性强、分割效果好的图像分割算法,而且二代小波方法有利于硬件实现,便于算法应用于噪声干扰严重、实时性要求较高的系统,具有重要的研究价值和广阔应用前景.

参 考 文 献

- [1] 李学俊,刘祥俊,赵礼良.基于梯度熵的 otsu 图像分割算法[J].计算机工程与设计,2015,36(3):705-709.
- [2] 董忠言,蒋礼兴,王俊亚,等.基于图像复杂度的一维 otsu 改进算法[J].计算机科学,2015,42(6A):171-174.
- [3] Qiao W,Cao Y J.An improved binarization method for gray images[J].Electronic Science and Technology,2013,21(11):63-64.
- [4] 丁晓峰,何凯霖.基于最大类间方差的改进图像分割算法[J].计算机工程与设计,2015,36(10):2765-2768.
- [5] 孙曙光,庞毅,王景芹,等.一种基于新型小波阈值去噪预处理的 EEMD 谐波检测方法[J].电力系统保护与控制,2016,44(2):42-48.
- [6] Guo W Y,Wang X F,Xia X Z.Two-dimensional Otsu's thresholding segmentation method based on grid box filter[J].OPTIK,2014,125(18):5234-5240.
- [7] 范朝冬,欧阳红林,肖乐意.基于空间截面投影的 Otsu 图像分割算法[J].通信学报,2014,35(5):70-78.
- [8] 范九伦,赵凤.灰度图像的二维 Otsu 曲线阈值分割法[J].电子学报,2007,35(4):751-755.
- [9] 景晓军,蔡安妮,孙景鳌.一种基于二维最大类间方差的图像分割算法[J].通信学报,2001,22(4):71-76.
- [10] 胡敏,李梅,汪荣贵.改进的 Otsu 算法在图像分割中的应用[J].电子测量与仪器学报,2010,24(5):443-448.
- [11] 高伟,祖悦,王伟,等.基于二代小波的光纤陀螺实时降噪方法研究[J].仪器仪表学报,2012,33(4):774-779.
- [12] Arva M S,Goval P.Second generation wavelet transform based biometric [Iris] watermarking for image authentication using Gabor feature extraction[C]//Proceedings of 2015 3rd International Conference on Image Information Processing.Piscataway: IEEE press,2010: 196-201.
- [13] 刘文静,贾振红,郝青梅.基于小波包与 Otsu 的含噪遥感图像分割算法[J].计算机工程,2011,37(15):203-204.
- [14] 方必武,刘涤尘,王波,等.基于小波变换和改进萤火虫算法优化 LSSVM 的短期风速预测[J].电力系统保护与控制,2016,44(8):37-43.
- [15] 范朝冬,欧阳红林,张英杰.基于小概率策略的 Otsu 图像分割方法[J].通信学报,2013,35(9):2081-2087.
- [16] 徐超,冯辅周,闵庆旭.基于形态学和 OTSU 算法的红外图像降噪及分割[J].红外技术,2017,39(6):37-43.
- [17] 王坤,张杨,宋胜博,等.改进二维 OTSU 和自适应遗传算法的红外图像分割[J].系统仿真学报,2017,29(6):1229-1236.

Image Segmentation of Anti-noise Otsu Based on the Second Generation Wavelet Transformation

Wang Haifeng, Zhang Yi, Jiang Yifeng

(Information Center, Jiangsu University of Technology, Changzhou 213001, China)

Abstract: To solve the problem of the poor effect and anti-noise deficiency in the segmentation of noisy image with one dimension and two dimension Otsu method, this paper proposes an Otsu image segmentation method for noise reduction based on second generation wavelet transformation. The second generation wavelet transformation is used to suppress the noise of the target and background in the wavelet domain, then the otsu is calculated. The experiments show that the algorithm is a good image segmentation algorithm with strong anti-noise and good segmentation effect. Compared with the existing two-dimensional and three-dimensional Otsu methods, the algorithm is not only computationally efficient, but also robust to noise suppression.

Keywords: second generation wavelet transformation; PSNR; Otsu; image segmentation; threshold

[责任编辑 陈留院]