

# 基于数学形态学的海洋浮游植物边缘检测研究

聂 文, 杨晨晖, 陈 成

(厦门大学 信息科学与技术学院, 福建 厦门 361005)

[摘要] 传统的边缘检测算子由于受噪声影响比较大, 无法检测海洋浮游植物细胞可靠的边缘位置, 因此不适合应用于细胞形态分析. 为此, 针对海洋浮游植物细胞原始图像的特点, 提出了一种迭代域值算法, 数学形态学处理, 类异或运算, 单像素腐蚀相结合的边缘精确检测算法. 通过 VisualC++ 6.0 试验结果证明, 与传统的边缘检测算法相比较, 本文的边缘检测算法不但抗噪声干扰能力强, 而且检测精度高, 边缘连续, 清晰.

[关键词] 海洋浮游植物, 迭代域值, 数学形态学, 边缘检测

[中图分类号] TP 391 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2008)04-0167-06

## Research of Edge Detection for Marine Phytoplankton Based on Mathematical Morphology

Nie Wen Yang Chenhui Chen Cheng

(School of Information Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract** The traditional edge detection operators cannot detect the exact edge of marine phytoplankton cells because of the relatively large impact of noise; hence, it is not suitable for analyzing the shape of cells. This paper, based on the characteristics of the original images of marine phytoplankton, has proposed a new method which combines iterative arithmetic mathematical morphology, similar XOR and single-pixel corrosion, and therefore, can detect the edge more accurately. The trial of VisualC++ 6.0 has proved that the edge detection algorithm in this paper is not only strongly resistant to noise, but also highly precise, continuous and clear, while compared with the traditional edge detection operators.

**Key words** marine phytoplankton, iterative arithmetic mathematical morphology, edge detection

海洋浮游植物是海洋生态系统中最主要的初级生产者, 也是海洋生物资源的重要组成部分, 在海洋生态系统的物质循环和能量流动中起着极其重要的作用, 但与此同时海洋浮游植物又是赤潮等自然灾害的肇事者. 赤潮是全球性的海洋环境问题之一, 近年来, 随着沿海城市经济的高速发展, 工业废水和生活污水大量排入海水中, 加上近海高密度的养殖, 加重了水体的富营养化程度, 致使赤潮愈演愈烈, 不仅严重破坏了海洋渔业和水产资源, 甚至威胁到人类的身体健康和生命安全. 为了及时的预防和鉴定赤潮的发生, 对赤潮藻细胞图像的分类和鉴定就成为非常有意义的课题.

细胞的边缘是进行细胞面积, 轴长, 个数等形态分析的基础与前提, 对图像的分割、目标区域的识别、区域形状提取等图像分析领域有着十分重要的作用. 因此边缘的检测不但要求定位准确, 而且还要求抗噪声干扰的能力强. 但是由于海洋浮游植物细胞图像在采集和成像过程中, 不可避免的引入了海水中的泥沙、未知悬浮颗粒物、絮状物及它们的阴影等随机干扰, 使得所获取的原始图像叠加了大量噪声; 并且由于成像设备等原因, 使得原始图像边缘不清晰, 或存在多处断裂等现象. 传统的边缘检测算法一般利用梯度极大值或二阶导数过零点值来检测边缘, 对噪声比较敏感, 在处理含有噪声的图像时, 易造成检测出的边缘模糊, 效果不太理想. Canny检测算子性能优于传统的边缘检测算子, 但定位不够精确, 且时间复杂度较大. 近年来, 数学形态学发展成为数字图像处理领域一种新兴的研究方法, 其基本思想是使用具有一定形

收稿日期: 2008-06-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40627001).

通讯联系人: 杨晨晖, 教授, 研究方向: 模式识别、车牌识别和视频检测. E-mail: hy\_1022@yahoo.com.cn

态的结构元素来度量和提取图像中对应的形状, 以达到对图像分析和识别的目的.

本文采用结合迭代域值, 数学形态学, 类异或运算, 单像素腐蚀处理得到细胞的边缘, 结构清晰, 精度高, 有效的抑制了噪声对边缘信息的干扰. 提取出了较为完整的边缘.

# 1 海洋浮游植物细胞分割

## 1.1 最佳域值分割的理论基础

域值分割处理是一种区域分割技术, 它首先将图像的灰度值 (0~ 255) 分成不同的等级, 然后将灰度根据主观愿望分成两个或多个等间隔或不等间隔灰度区间, 它主要是利用图像中要提取的目标物体和背景在灰度上的差异, 选择一个合适的域值, 通过判断图像中的每一个像素点的灰度幅值是否满足选定的域值要求来确定图像中该像素点属于目标区还是属于背景区域, 从而产生二值图像. 一般而言当用阈值分割目标与背景时, 如果某一灰度值  $H$  是图像的分割阈值, 即小于  $H$  的灰度点将构成目标, 大于  $H$  的灰度点就构成背景.

我们选取一个域值的准则应该是这样的, 如果灰度  $H$  可以作为图像的一个阈值, 那么它应该使按这个阈值划分目标和背景的分割错误的图像像素点数达到最小. 比如如果目标物体内部点具有大致相同的灰度幅值, 并且分布在另一个灰度幅值均匀的背景上, 那么图像的灰度直方图就应该具有明显的双峰. 但是在许多情况下, 随机的噪声干扰使波峰与波峰之间峰谷的位置难以确定或者结果不稳定导致图像目标与背景分割的错误率较高.

因此对混杂有大量噪声的海洋浮游植物细胞原始图像, 我们提出一种采用迭代域值算法求得分割细胞图像的最佳域值, 通过最佳域值分割之后, 我们能有效的把一幅图像分割成只有背景和目标的二值图像, 这样既增强了目标与背景的对比度, 也增强了目标的边缘.

我们假设有一幅图像  $H(x, y)$ , 它由混入了噪声  $C(x, y)$  的原始图像  $F(x, y)$  叠加而成的, 数学表达式即为:

$$H(x, y) = F(x, y) + C(x, y).$$

通过阈值分割图像分割为两部分, 由于噪声是随机作用于图像的像素点上, 并且各点的噪声是互不相关的, 且具有零均值, 标准差为  $\epsilon$  则可以认为在分割出目标  $H_1$  和背景  $H_2$  图像上噪声干扰仍为  $C(x, y)$ , 即

$$\begin{aligned} H_1(x, y) &= F_1(x, y) + C(x, y), \\ H_2(x, y) &= F_2(x, y) + C(x, y). \end{aligned}$$

因此在多次求解域值之后就基本可以把噪声去除, 我们对分割出的目标和背景图像分别求其数学期望, 即

$$\begin{aligned} E\{H_1(x, y)\} &= E\{F_1(x, y) + C(x, y)\} = E\{F_1(x, y)\}, \\ E\{H_2(x, y)\} &= E\{F_2(x, y) + C(x, y)\} = E\{F_2(x, y)\}. \end{aligned}$$

因为噪声具有零均值, 所以随着迭代次数的增加, 噪声基本消除了, 而  $F(x, y)$  的灰度值就基本接近  $H(x, y)$  了. 因此利用迭代域值求得的最佳分割域值不受噪声的干扰, 它有效的减少了噪声对边缘的干扰, 提高了图像边缘检测的抗干扰能力.

## 1.2 最佳域值分割的算法步骤

首先选择一个近似阈值作为初始值, 然后利用近似阈值进行第一次分割, 产生子图像, 并根据子图像的灰度幅值特性来选取新的阈值, 再用新的阈值分割原始图像, 经过几次循环, 使错误分割的图像像素点降到最少. 这样做的效果好于用初始阈值直接分割图像的效果, 阈值的改进策略是迭代算法的关键. 算法步骤如下所示:

(1) 选择初始域值  $T^0$ , 我们可以选择图像的平均灰度幅值来作为初始分割域值.

$$\begin{aligned} T^0 &= \{T^k \mid k = 0\}; \\ T^0 &= \frac{\sum_{j=1}^{width} \sum_{i=1}^{height} F(x, y)}{width \times height}, \end{aligned}$$

式中分母为原始图像的总像素的个数,分子为所有像素的总和.

(2) 利用域值  $T_k$  把图像分割成两部分  $R_1$  和  $R_2$ .

$$R_1 = \{F(x, y) \mid F(x, y) \geq T^k\}, R_2 = \{F(x, y) \mid 0 < F(x, y) < T^k\}.$$

(3) 计算区域  $R_1$  和  $R_2$  的像素灰度数学期望  $\mu_1$  和  $\mu_2$

$$\mu_1 = \frac{\sum_{F(i, j) \geq T^k} F(i, j) \times P(i, j)}{\sum_{F(i, j) \geq T^k} P(i, j)}, \quad \mu_2 = \frac{\sum_{0 < F(i, j) < T^k} F(i, j) \times P(i, j)}{\sum_{0 < F(i, j) < T^k} P(i, j)}.$$

(4) 式中  $p(i, j)$  为点  $(i, j)$  处的概率密度,一般我们取  $1.0$   $F(i, j)$  是点  $(i, j)$  处的灰度幅值.

(5) 计算新的域值  $T^{k+1}$

$$T^{k+1} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2}.$$

(6) 如果新的域值  $T^{k+1}$  与  $T^k$  相等那么迭代结束,否则

(7)  $T^k = T^{k+1}$  转步骤 (2).

## 2 基于数学形态学的膨胀算法轮廓提取实现

数学形态学是一种具有代表性且越来越广泛应用的非线性数学方法.由于形态学运算是物体形态集合与结构元素之间的相互作用,因此它对边缘方向不敏感,并能在很大程度上抑制噪声,在描述图像中物体形态特征上具有独特的优势.将数学形态学用于边缘检测,既可有效地滤除噪声,又可保留图像中的原有细节信息.

### 2.1 数学形态学基本运算过程

膨胀、腐蚀与开启、闭合是数学形态学的基本运算,设  $f(x, y)$  是输入图像,  $b(x, y)$  是结构元素,它可被看作是一个子函数图像.

函数  $b$  对函数  $f$  进行灰度膨胀可定义为:  $f \oplus b$

运算式为:

$$(f \oplus b)(s, t) = \max\{f(s - x, t - y) + b(x, y) \mid (s - x, t - y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}$$

函数  $b$  对函数  $f$  进行灰度腐蚀可定义为:  $f \ominus b$

运算式为:

$$(f \ominus b)(s, t) = \min\{f(s + x, t + y) - b(x, y) \mid (s + x, t + y) \in D_f; (x, y) \in D_b\}$$

用函数  $b$  对函数  $f$  开运算可定义为:  $f \circ b = (f \ominus b) \oplus b$

用函数  $b$  对函数  $f$  闭运算可定义为:  $f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b$

其中  $D_f$  和  $D_b$  分别是函数  $f$  和  $b$  的定义域,位移参数必须包含在函数  $f$  的定义域内.

由此可见开启运算可以消除比结构元素小的亮细节,而保持图像整体灰度和大的亮区域基本不受影响.闭合运算可以消除比结构元素小的暗细节,而保持图像整体灰度和大的暗区域基本不受影响.

### 2.2 海洋浮游植物细胞结构元素的选取及边缘检测过程

形态学图像边缘检测的基本思想是利用结构元素作为“探针”收集图像信息.当探针在图像中不断移动时,便可完成对图像的处理.运用各种基本运算的复合算法,构造边缘检测算子,从而了解图像的边缘结构特征.

在经过最佳域值分割图像后,原始图像就变成了一幅 2 值图像了,为了提取出细胞的外轮廓,可以先用结构元素对 2 值图像做闭运算,把一些在边缘上的细缝、弯口进行融合,达到填补轮廓上缝隙的目的,然后对 2 值图像膨胀.之后把原 2 值图像和膨胀之后的图像进行类异或运算,即得到了比较清晰、连续的边缘图像.

但是在膨胀算法中,不同的结构元素对图像处理的结果影响差别是很大的,当需要了解图像边缘细节时,应选用较少尺寸的结构元素,当需要突出图像整理轮廓时,应选用较大尺寸的结构元素,但也不宜过大,否则会丧失太多原有图像的细节信息.因此本文算法中的结构元素尝试了图 1 中所示的 4 种形式.

试验结果表明,十字形结构元素对边缘的提取效果最佳,以本算法用到的结构元素就用这种.

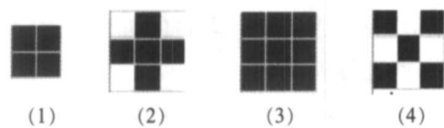


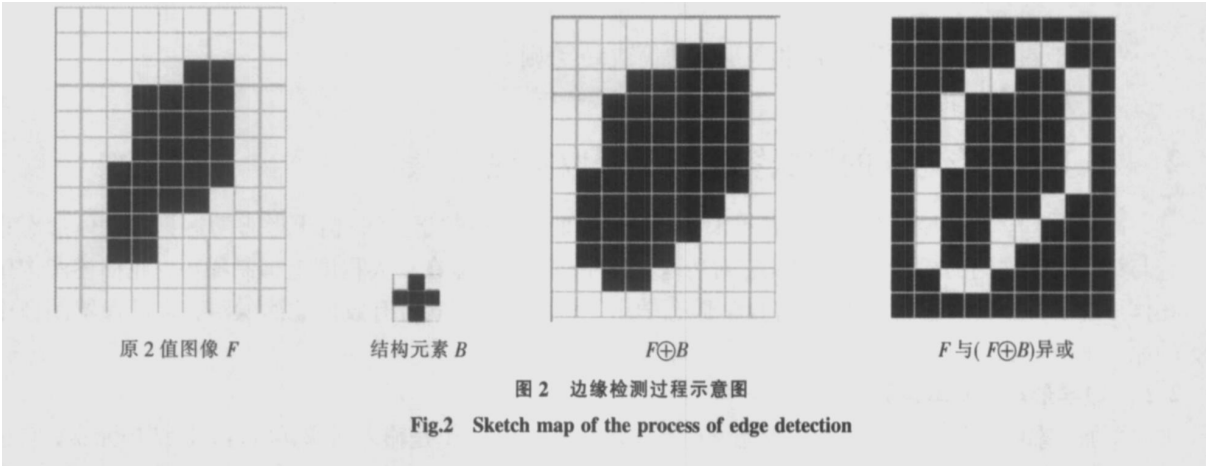
图 1 4 种不同的结构元素

Fig.1 Four different structural elements

类异或运算是把图像中像素值为 255 的点看成是 1,跟像素值为 0 的点进行异或运算,运算结果为 0 的点像素值依然为 0,运算结果为 1 的点,则该点的像素值替换为 255 这样边缘就在黑色背景下用白线勾画出来了.简单的描述就是:

$0 \oplus 255 = 255$   $0 \oplus 0 = 0$   $255 \oplus 255 = 0$   $255 \oplus 0 = 255$  符号  $\oplus$  表示类异或运算.

整个轮廓提取的过程用图形表示如图 2 所示:



### 3 单像素腐蚀求最佳轮廓线

获得海洋浮游植物细胞图像边缘主要的目的就是用来对细胞形态的归类,计算细胞的周长、面积,轴长、相似度等特征参数,这样就能把特征提取出来与数据库中的参数表进行对照迅速得出玻片中海洋浮游植物的种类,细胞个数等等,这对预防赤潮的发生有重大的意义.

但是经过上述处理之后部分边缘的像素不是单像素,这对于后面进行周长,面积,轴长等特征参数的测定会产生较大的影响,因此我们有必要获得单像素的边缘,这个比较好实现,我们只要设计一个如图 3 所示的结构元素,对提取出来的轮廓 2 值图腐蚀一下就可以了.



图 3 单像素腐蚀结构元素

Fig.3 Structural elements of singal-pixel corrosion

这样我们就得到了单像素的细胞边缘,而且边缘的连续性没有被破坏,因此边缘具有较高的定位精度,同时二值化处理后的细胞图像具有完整的轮廓.

### 4 试验结果及分析

本文使用的海洋浮游植物细胞原始图片来自厦门大学生命科学学院硅藻实验室,细胞图像每像素 8 bit 本文阐述的算法是在 Visual C++ + 6.0 并且加载 OpenCV 环境下编译运行的,图 4 是一种典型的蓝藻门细胞图像用各种边缘检测算子的检测结果: (a) 原始细胞图片, (b) 结合中值滤波和 Sotropic Sobel 算子检测的边缘; (c) Prewitt 算子检测结果; (d) 高斯-拉普拉斯算子检测结果. (e) Canny 算子检测结果. (f) 本文算法.

图中的所有 2 值图片为了能有效的显示边缘,都以黑色做为背景,白色做边缘.

通过实验我们可以看出,结合中值滤波和 Sotropic Sobel 算子与 Prewitt 算子检测出来的结果基本一样,对噪声的抗干扰能力差,检测出来的边缘信息比较宽,有虚边缘,并且边缘很模糊,定位非常不精确,

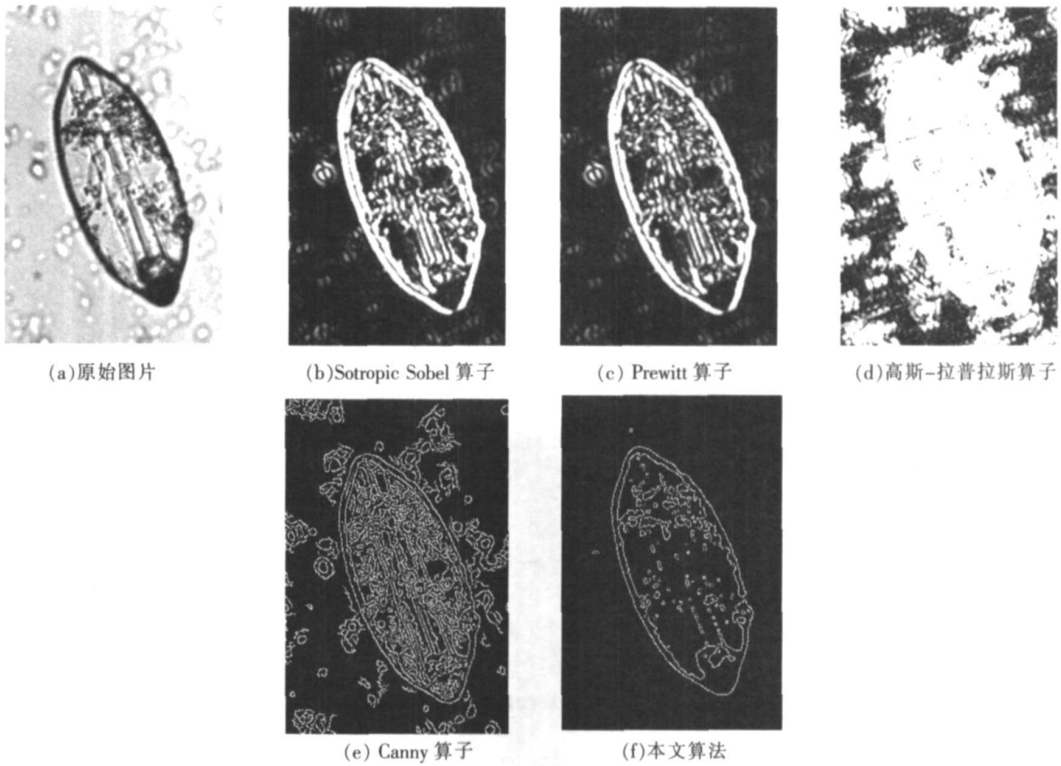


图4 各种算法比较

Fig.4 Comparison between the different algorithms

无法为后续的周长,面积等参数特征的计算提供可靠的边缘, Canny算子虽然对轮廓的提取较为满意,但是容易将噪声当成边缘来处理,并且 Canny算子时间复杂度太大,实时性较低. 而用本文提出的算法既保证了检测到的边缘仅有一个像素的宽度,而且边缘连续,定位精确,同时避免了边缘宽度增加而引起邻近边缘的重叠,具有对噪声非常好的鲁棒性.

本文的边缘检测结果为海洋浮游植物细胞的自动分类识别打下了良好基础,并对预防赤潮的发生有重大的意义.

## 5 结语

图像边缘检测是图像处理和计算机视觉的一个重要研究方向,本文提出的采用结合域值迭代,数学形态学,类异或运算,单像素腐蚀的算法克服了经典微分边缘检测算法抗干扰能力小及现代边缘检测算法运算复杂的问题,具有较好的实时性、抗干扰性和定位准确性. 从实验结果来看有一定实用性,为海洋浮游植物细胞的自动识别分类打下了良好基础,并对预防赤潮的发生有重大的意义.

## [参考文献] (References)

- [1] 高守传,姚领田. Visual C++ 实践与提高——理与工程应用篇[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006: 1.  
Gao Shouchuang Yao Lingtian Visual C++ practice & improve-application in science and project[M]. Beijing China Railway Publishing House 2006: 1. (in Chinese)
- [2] 杨枝灵,王开. Visual C++ 数字图像获取 处理及实践应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 1.  
Yang Zhiling Wang Kai Visual C++ digital image obtaining process & practical application[M]. Beijing Posts & Telecom Press 2003: 1. (in Chinese)
- [3] 何斌. Visual C++ 数字图像处理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001: 335-336  
He Bing Visual C++ digital image processing[M]. Beijing Posts & Telecom Press 2001: 335-336 (in Chinese)
- [4] 杨淑莹. VC++ 图像处理程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 149-151  
Yang Shuying Image processing programming in Visual C++ [M]. Beijing Tsinghua University Press 2003: 149-151. (in Chinese)

- [ 5 ] 求是科技. VisualC++ 数字图像处理典型算法及实现 [ M ]. 北京: 人民邮电出版社, 2006 315-333  
Q iushiKeji V isualC+ + typical algorithm & implementation in digital image processing[ M ]. Beijing Posts & Telecom Press 2006 315-333 ( in Chinese)
- [ 6 ] 刘瑞祯, 于仕琪. OpenCV 教程 基础篇 [ M ]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007: 243-326  
L iu Ruizhen, Yu Shiqi OpenCV course( part 1 fundamental) [ M ]. Beijing Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press 2007: 243-326 ( in Chinese)
- [ 7 ] 程军娜, 姬光荣, 冯晨. 基于数学形态学的藻细胞图像预处理 [ J ]. 中国海洋大学学报, 2008, 38( 3): 513-516  
Cheng Ju' na YiGuangRong, Feng Chen Algae cell image preprocessing based on mathematical morphology[ J ]. Periodical of Ocean University of China 2008, 38( 3): 513-516 ( in Chinese)
- [ 8 ] Kumar S Ong SH, Ranganath S et al A luminance-and contrast-invariant edge-similarity measure[ J ]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 2006 28( 12): 2 042-2 048
- [ 9 ] Serra J Vincent L An overview of morphological filtering [ J ]. Circuits System Signal Process 1992 11(1): 47-108

[ 责任编辑: 孙德泉 ]

( 上接第 154 页 )

# [ References]

- [ 1 ] Tian Ze The Development and Application of Embedded System [ M ]. Beijing: BeiHang University Press 2005
- [ 2 ] Xiong Chunjie, Zhong Jiaqi, Chen Qiomei Transplant uclinux based on s3c44b0 development platform [ J ]. Control & Automation, 2007, 23( 2): 46-48
- [ 3 ] Li Yan, Wang Weibing, Sun Yongchun Transplant uClinux OS kernel based on S3C44B0X [ J ]. Journal of Harbin University of Science and Technology 2006 11( 2): 73-75
- [ 4 ] Wu Rui, Zhu Jun, Wang Yuwang et al Transplant uClinux based on UP-NETARM 3000 platform [ J ]. Computing Technology and Automation, 2006, 25( 4): 228-232
- [ 5 ] Chang Yinxia, Zhang Zhendong, Tang Jiying Transplant uClinux to S3C44B0 through Bootloader [ J ]. Journal of Hebei University of Technology 2005, 34( 2): 100-104
- [ 6 ] Chen Weijun, Li Zhengning, Sun Jun et al The design and implement of S3C44B0 leading program based on U-Boot [ J ]. Embedded Software Application, 2007, 1( 2): 113-115

[ 责任编辑: 顾晓天 ]