

# 基于小波包分解和形态学融合的地基云图边缘检测

张永宏<sup>1</sup> 袁永<sup>1</sup>

## 摘要

采用一种基于小波包分解和数学形态学融合的边缘提取方法用于地基云图的边缘检测.首先对图像进行基于小波包分解的边缘提取,然后对图像进行数学形态学的边缘检测,最后利用图像融合技术对两幅图像进行融合得出最优边缘图像.通过 Matlab 软件验证和比较,表明该方法实际使用效果较好.

## 关键词

地基云图;边缘检测;小波包;形态学

中图分类号 TP391.4

文献标志码 A

## 0 引言

云是大气系统中的重要成员,它参与了大气系统中的2个重要物理过程:能量交换和水循环过程.云状不仅反映当时大气的运动、稳定程度和水汽状况,也是预示未来天气变化的重要特征之一<sup>[1]</sup>.因此,正确获取云图的纹理特征和云状类型对于了解云的天气、气候学特征,深入研究天气变化问题有重要意义.其中,云图的纹理特征分析和边缘轮廓提取对于云图分类至关重要.

传统的边缘检测算法主要有 Robert 算子、Sobel 算子、Canny 算子以及拉普拉斯算子等.随着图像处理技术的快速发展,许多学者提出了新的图像边缘检测算法,例如小波变换等方法.传统的小波变换方法主要是在高频分量上提取边缘,忽略了低频分量的部分边缘信息,虽然用小波变换法对图像进行边缘检测能很好地抑制噪声,但检测到的边缘存在不连续的现象.基于数学形态学的边缘检测方法可以提取比较光滑的边缘,但是通常提取的边缘较粗<sup>[2-3]</sup>.小波包变换是从小波变换延伸出来的一种对信号更加细致的分析与重构方法,它不仅对图像的低频部分进行分解,而且对图像的高频部分做出更加细致的刻画,对信号的分析能力更强.本文以地基云图为例,结合小波包变化和数学形态学的特点,采用小波包变换和数学形态学的边缘检测方法,利用融合技术实现云图的边缘检测,取得了良好效果.

## 1 小波包分析

### 1.1 小波包分解的基本原理<sup>[4]</sup>

传统的小波分解是对信号的低频部分进行分解,也就是说在塔式分解过程中只对近似部分进行分解,这样频率越低分解也越细,即这种分解方法对于主要信息存在于低频区域的信号比较适合,而对于云图边缘而言,其主要信息存在于高频区域,传统的小波变换并不适合,小波包分解则可以克服上述缺陷.

小波包可以定义为,考察多分辨率分析中的分解空间:

$$L^2(\mathbf{R}) = \bigoplus_{j \in \mathbf{Z}} \mathbf{W}_j. \quad (1)$$

该表达式表明多分辨率分析是按照不同的尺度因子  $j$  把空间  $L^2(\mathbf{R})$  分解为子空间  $\mathbf{W}_j (j \in \mathbf{Z})$  的直和.其中  $\mathbf{W}_j$  为小波函数  $\{\phi_{j,k}\}_{k \in \mathbf{Z}}$  的闭包(小波子空间).进一步对小波子空间  $\mathbf{W}_j$  按照二进制进行频率的细分,将尺度子空间  $\mathbf{V}_j$  和小波子空间  $\mathbf{W}_j$  用一个新的子空间  $\mathbf{U}_j^m$  统

收稿日期 2010-12-04

资助项目 教育部留学回国人员启动基金(2010609)

作者简介

张永宏,男,博士,教授,主要从事模式识别与智能系统等方面的研究.

nuist\_zyh@yahoo.com.cn

<sup>1</sup> 南京信息工程大学 信息与控制学院,南京,210044

一起来表征. 令

$$\mathbf{U}_j^0 = \mathbf{V}_j, \quad \mathbf{U}_j^1 = \mathbf{W}_j, \quad j \in \mathbf{Z}, \quad (2)$$

则正交分解

$$\mathbf{V}_{j+1} = \mathbf{V}_j \oplus \mathbf{W}_j, \quad (3)$$

即可用  $\mathbf{U}_j^n$  的分解统一为:

$$\mathbf{U}_{j+1}^0 = \mathbf{U}_j^0 + \mathbf{U}_j^1, \quad j \in \mathbf{Z}. \quad (4)$$

定义子空间  $\mathbf{U}_j^n$  为函数  $\mathbf{U}_n(x)$  的闭包空间, 而  $\mathbf{U}_j^{2n}$  是函数  $\mathbf{U}_{2n}(x)$  的闭包空间, 并令  $\mathbf{U}_n(x)$  满足下面的双尺度方程:

$$\begin{cases} \mathbf{U}_{2n}(x) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} h_k u_n(2x - k), \\ \mathbf{U}_{2n+1}(x) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} g_k u_n(2x - k). \end{cases} \quad (5)$$

其中:  $g_k = (-1)h_{1-k}$ , 即 2 个系数也具有正交关系. 特别地, 当  $n=0$  时, 由以上两式直接得到

$$\begin{cases} \mathbf{U}_0(x) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} h_k u_0(2x - k), \quad \{h_k\} \in l^2; \\ \mathbf{U}_1(x) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} g_k u_0(2x - k), \quad \{g_k\} \in l^2. \end{cases} \quad (6)$$

式(6)分别为尺度函数  $u_0(x)$  和与小波函数  $u_1(x)$  的双尺度方程. 利用式(5)与(6)可以得到如下空间分解:

$$\mathbf{U}_{j+1}^n = \mathbf{U}_j^{2n} + \mathbf{U}_j^{2n+1}. \quad (7)$$

由式(5)与(6)构造的序列  $\{\mathbf{U}_n(x)\}$  (其中  $n \in \mathbf{Z}_+$ ) 称为由基函数  $\phi(x) = u_0(x)$  确定的小波包.

## 1.2 小波包的分解和重构算法

记信号在子空间  $\mathbf{U}_j^{2n}$  和  $\mathbf{U}_j^{2n+1}$  的小波包系数分别为  $d_l^{j,2n}$  和  $d_l^{j,2n+1}$ , 可以得到小波包的分解公式如下:

$$\begin{cases} d_l^{j,2n} = \sum_{k \in \mathbf{Z}} h_{k-2l} d_k^{j+1,n}, \\ d_l^{j,2n+1} = \sum_{k \in \mathbf{Z}} g_{k-2l} d_k^{j+1,n}. \end{cases} \quad (8)$$

小波包变换的重构算法, 由  $\{d_l^{j,2n}\}$  与  $\{d_l^{j,2n+1}\}$  求  $\{d_l^{j+1,n}\}$ :

$$d_k^{j+1,n} = \sum_l [h_{l-2k} d_l^{j,2n} + g_{l-2k} d_l^{j,2n+1}]. \quad (9)$$

相对于小波变换, 小波包的优点主要在于能够对高频成份进行进一步的划分, 小波包变换能够对图像中的高频部分进行分解, 具有更强的适应性, 因此小波包变换更加适合于图像的各种处理.

## 2 数学形态学边缘检测

数学形态学是用具有一定形态的结构元素对原图像进行位移、交、并等运算, 去度量和提取图像中的对应形状以达到对图像分析和识别的目的. 灰度

形态学的基本运算有膨胀、腐蚀、开运算和闭运算 4 种. 形态学运算中的腐蚀与膨胀 2 种基于集合的运算, 进行图像处理时, 腐蚀运算使图像向灰度值变小的方向收缩, 膨胀使图像向灰度值高的区域延伸, 而图像的边缘点是灰度值局部变化最剧烈的点, 故 2 种运算对图像边缘引起的变化最大. 正是基于这一点, 将腐蚀和膨胀以后的图像与原图像作差, 就可以得到局部变化最大的点, 即为图像的边缘点. 灰度形态学运算及其边缘检测算子的定义如下所述<sup>[5]</sup>.

设  $(x, y)$  为图像平面空间的坐标点,  $f(x, y)$  为输入灰度图像的灰度值,  $b(x, y)$  为结构元素,  $D_f$  和  $D_b$  分别是函数  $f$  和  $b$  的定义域.

腐蚀运算:

$$(f \ominus b)(x, y) = \min \{f(x+i, y+j) - b(i, j) \mid (x+i, y+j) \in D_f; (i, j) \in D_b\}. \quad (10)$$

腐蚀运算可以减弱甚至消除小于结构元素的明亮区域, 从而可以用来有效地去除孤立噪声点和边界上不平滑的凸出部分. 按腐蚀运算, 则边缘检测算子为

$$E_c = f - f \ominus b. \quad (11)$$

膨胀运算:

$$(f \oplus b)(x, y) = \min \{f(x-i, y-j) + b(i, j) \mid (x-i, y-j) \in D_f; (i, j) \in D_b\}. \quad (12)$$

膨胀运算是将与目标物体接触的所有背景点合并到物体中的过程, 可填补空洞和形成连通域及填平图像边界上不平滑的凹陷部分. 按膨胀运算, 则边缘检测算子为

$$E_d = f \oplus b - f. \quad (13)$$

通常情况下, 为了操作的方便, 也引进阈值的做法: 给定某个阈值  $\varepsilon > 0$ , 如果  $E_c(x, y) > \varepsilon$ , 则  $(x, y)$  被认为是边界点, 反之则不是边界点; 同样地, 如果  $E_d(x, y) > \varepsilon$ , 则  $(x, y)$  被认为是边界点, 反之则不是边界点.

## 3 基于融合技术的图像边缘检测

单一的边缘检测方法只能从某一方面反映图像的边缘信息, 经过小波包变换的边缘检测方法能够较好抑制噪声, 利用多尺度的特点和突变频率, 将边缘点分解到不同的频带上, 提取出来的图像轮廓比较清晰, 但是容易丢失一些细节边缘, 提取的边缘轮廓连续性不好. 数学形态学的方法则是在原始图像中进行, 通过腐蚀或膨胀运算将边缘灰度值变大或变小, 然后利用边缘检测算子提取出边缘点, 这种方

法的优点是边缘的定位比较精确,但对噪声比较敏感. 本文将上述 2 种方法结合起来,对小波包分解和数学形态学方法提取的边缘信息进行融合处理,以获得良好的图像边缘提取效果<sup>[6-10]</sup>.

该算法的流程如图 1 所示. 首先输入原始图像,对原始图像进行必要的预处理,如灰度变换、增强等,主要目的是提高目标图像的清晰度;然后是对图像进行多尺度小波包分解,提取高频分量的图像细节边缘,从而提取目标的边缘;同时对图像进行数学形态学分析,提取图像的边缘;最后采用文献[6]提出的融合规则,对 2 幅边缘图像进行融合,得出最后的图像边缘.

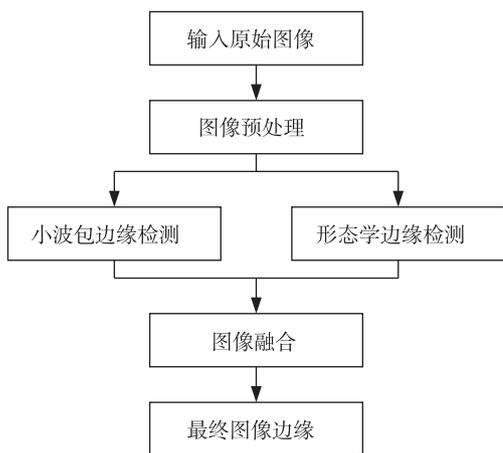


图 1 边缘检测算法流程

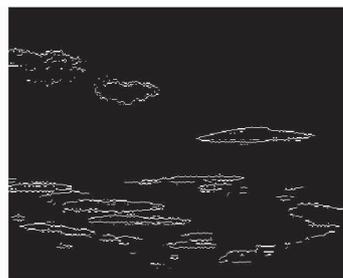
Fig. 1 The diagram of image edge detection algorithm

## 4 仿真结果与分析

为了验证本文提出的边缘检测算法,分别将本文方法和小波包分解和数学形态学方法进行了比较. 实验中,采用 Matlab7.0 来进行算法的仿真,原始图像如图 2a 所示,图 2b-d 分别是基于小波包分析的图像边缘,基于数学形态学的图像边缘,以及本文算法得到的图像边缘. 从图 2b 可以看出,基于小波包的边缘检测可以比较准确地检测出图像的边缘,有效地抑制了噪声,但是该方法的缺陷就是提取的图像边缘不连续. 从图 2c 可以看出,基于数学形态学的边缘检测虽然检测出的边缘比较连贯,但是由于噪声的影响,检测出的边缘不太准确,容易产生虚假边缘,有些细节处理不清楚. 综合上述 2 种边缘检测方法,本文提出的融合技术较好地克服了这些缺陷,如图 2d 所示,图像边缘提取的连续性、准确性得到了较大改善,得到了较好的边缘检测结果.



a.原始图像



b.小波包边缘图像



c.形态学边缘图像



d.本文算法图像

图 2 本文算法与几种传统方法检测结果的比较  
Fig. 2 Comparison of edge detection results between the proposed method and traditional methods

## 5 总结

本文在介绍小波包的多尺度边缘检测方法和数学形态学边缘检测方法的基本原理及其特点的基础上. 采用图像融合技术,综合上述 2 种方法的优点,获得了良好的图像边缘检测效果. 与传统的经典算

法比较,本文提出的方法图像轮廓比较清晰,定位更加准确,细节也可以更多地提取出来。

## 参考文献

### References

- [ 1 ] 王晓蕾,杜智涛. 云图纹理特征参数提取方法和分析[J]. 气象水文海洋仪器,2006(1):39-42  
WANG Xiaolei, DU Zhitao. Method for cloud texture characteristic pick-up [J]. Meteorological Hydrological and Marine Instruments, 2006(1):39-42
- [ 2 ] 杨健,薛峰,宋志刚,等. 基于图像处理技术的地基云图云状的识别[J]. 气象水文海洋仪器,2008(3):67-71  
YANG Jian, XUE Feng, SONG Zhigang, et al. Recognition of ground nephogram cloudage based on image processing technology [J]. Meteorological Hydrological and Marine Instruments, 2008(3):67-71
- [ 3 ] 郭业才,丁雪洁. 正交小波变换和时间分集联合盲均衡算法[J]. 南京信息工程大学学报:自然科学版,2010,2(1):1-5  
GUO Yecai, DING Xuejie. The orthogonal wavelet transform and time diversity combined blind equalization algorithm [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2010, 2(1):1-5
- [ 4 ] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. 2nd ed. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1992
- [ 5 ] 刘贵喜,杨万海. 基于小波分解的图像融合方法及性

- 能评价[J]. 自动化学报,2002,28(6):927-934  
LIU Guixi, YANG Wanhai. A wavelet-decomposition-based image fusion scheme and its performance evaluation [J]. Acta Automatica Sinica, 2002, 28(6):927-934
- [ 6 ] 孙红星,王蓉,赵楠楠,等. 基于小波提升和形态学的图像边缘检测方法[J]. 系统仿真学报,2006,18(S2):869-871  
SUN Hongxing, WANG Rong, ZHAO Nannan, et al. Edge detection algorithm based on lifting wavelet and morphology [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(S2):869-871
- [ 7 ] Wang S Y, Zhu G X. Feature extraction of radar multiple-target echoes using wavelet packet transform with the best bases [J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2003, 17(1):127-150
- [ 8 ] 胡艳,张瑞林. 基于小波变换和形态学的织物疵点边缘检测[J]. 测试技术学报,2009,23(2):173-177  
HU Yan, ZHANG Ruilin. Edge detection of fabric defect based on wavelet transform and mathematical morphology [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2009, 23(2):173-177
- [ 9 ] Zhang X L, Liu W. The Research on the methods of image edge detection[C]//2010 Third International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems, 2010:100-103
- [ 10 ] Cao Y Y, Yue H J, Wu J, et al. Vehicle edge detection based on multi-structure mathematical morphology[C]//Proceedings of the 2010 Third International Symposium on Intelligent Information Technology and Security Informatics, 2010:258-262

## Ground nephogram edge detection based on the fusion technique between wavelet package transform and morphological method

ZHANG Yonghong<sup>1</sup> YUAN Yong<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Information and Cybernetics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

**Abstract** In the paper, the ground nephogram edge detection based on the fusion technique between wavelet package transform and mathematical morphological method was introduced. In the proposed method, the detailed steps of wavelet package transform was presented firstly, the edge should be extracted using the wavelet package transform, and then applied the mathematical morphological method to get the image edge. Finally, the best edge of the image can be achieved by the proposed fusion technique using the edges obtained by the package transform and morphological method respectively. In order to test the performance of the proposed method, the experiment was conducted, some examples were tested and compared simulated by Matlab, it can be seen that the proposed method can get better results than the traditional methods.

**Key words** ground nephogram; edge detection; wavelet package; morphological method