

基于融合的微光云图的云分割

刘凯,寇正,白衡,马宁

(解放军理工大学 气象学院,江苏 南京 211101)

摘要: 首先应用基于变分的图像融合方法对 DMSP 气象卫星夜间微光云图和红外云图进行融合,在此基础上应用快速 C-V 模型图像分割方法对图像进行分割,将云分割出来。结果显示,与源图像相比,融合图像中包含了更多的关于云的信息,云体清晰度提高,纹理细致。在此基础上云体分割比较完整,比直接在各通道图像中进行分割的效果优越。

关键词: 图像融合;气象卫星 DMSP;变分图像融合方法;快速 C-V 模型

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)09-0063-03

Cloud segmentation in satellite image based on visible and infrared image fusion

Liu Kai, Kou Zheng, Bai Heng, Ma Ning

(Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China)

Abstract: The variational fusion approach was employed in the fusion of meteorological satellite DMSP nighttime visible image and infrared image firstly, then the fast C-V model was applied in the segmentation of cloud based on the fused image. The results showed that the fused image contained more abundant information about the cloud, and the texture of cloud and contrast of cloud were improved after fusion. So, the cloud segmentation was comparatively complete and was better than the segmentation directly in two channel images.

Key words: image fusion; meteorological satellite DMSP; variational fusion model; fast C-V model

气象卫星云图以其分辨率高、覆盖面广的特点,在气象领域得到了广泛利用。云是卫星云图上的重要目标,应用图像处理技术进行云的自动识别和分割是一个研究热点。可见光云图和红外云图是两种具有互补性的图像,从不同角度反映了云的特性,但单独使用其中一种都有不足之处。由于夜间和晨昏时段通常只有红外信息,没有可见光信息,使得大雾等灾害性天气的监测比白天难度要大。为了提高夜间云、雾的识别能力,考虑将微光云图和红外云图先进行融合,改善云图的视觉效果,然后在此基础上将云分割出来。近年来,新型的基于变分偏微分方程的图像融合技术和图像分割方法得到广泛运用并已取得良好的效果,本文将基于变分的图像融合方法应用到微光云图和红外云图的融合中,获得微光红外融合云图,再运用快速 C-V 模型进行云的分割,并将分割结果与直接在微光和红外两通道图像上分割的结果进行对比。

1 基于变分的图像融合方法

当前比较热门的图像融合方法是基于多尺度几何分析和基于多分辨率分析的融合方法,但随着变分偏微分方程的引入,基于变分的图像融合方法成为一类新型的方法。SOCOLINSKY D A 做过前期研究^[1-2],王超等^[3]将该方法推广到多波段三维医学图像融合中,周则明等^[4]将其运用到全色图和多波段图像的融合中。基于变分的图像融合方法的主要原理是先定义多波段图像的对比度形式,并且根据对比度形式得到对比度的主要分量作为融合后的目标对比度场,然后构造一个能量函数的极值问题去寻找具有最接近目标对比度场的结果图像作为融合结果,利用变分法将其转化为一个泊松方程求解。

1.1 多波段二维图像的对比度

一幅多波段二维图像可以被定义为一个矩形 $\Omega \subset R^2$ 和一个谱映射 $s: \Omega \subset P^n$, 其中 P^n 表示 n 维像空间。设 p 是 Ω 中的一个点, ν 是 R^2 中的任意单位向量。定义 s 中

技术与方法

Technique and Method

p 点沿着 v 方向的对比度为谱 s 中 p 点沿着 v 的变化率。

$$(J_p v)' g_{s(p)} (J_p v) = v' (J_p' g_{s(p)} J_p) v \quad (1)$$

其中 J_p 是 s 在 p 点的 Jacobian 矩阵。记 $g_p^s = (J_p' g_{s(p)} J_p)$, s_k 表示第 k 波段的源图像, x_i 表示第 i 维坐标变量。

$$(g_p^s)_{ij} = \sum_{k,l=1}^n (g_{s(p)})_{kl} \frac{\partial s_k}{\partial x_i} \frac{\partial s_l}{\partial x_j}, 0 \leq i, j \leq 2 \quad (2)$$

定义 $\chi^2(p) = g_p^s$ 是 s 在 p 点的图像对比度形式。 $\chi^2(p)$ 是对称矩阵, 具有非负的特征值。设 λ_p 是 $\chi^2(p)$ 最大的特征值。定义 s 在 $p \in \Omega$ 的绝对对比度等于 $\sqrt{\lambda_p}$, 并且其最大对比度方向为 λ_p 所对应的特征向量所在的方向。

考虑欧氏度量单波段二维图像在点 $p \in \Omega$ 的情况:

$$\chi^2 = \begin{pmatrix} s_x^2 & s_x s_y \\ s_x s_y & s_y^2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

最大特征值 $\lambda_p = |\nabla s(p)|^2$, 并且最大对比度方向由 $\nabla s(p)$ 描述。

1.2 对比度场

对每个点 $p \in \Omega$, 图像 s 在该点的对比度是一个向量 $V(p)$, 向量长度就是绝对对比度 $\sqrt{\lambda_p}$, 向量的方向由 λ_p 所对应的特征向量 $E(\lambda_p)$ 确定。定义一个辅助函数 ψ , 把它选为所有源波段和图像的梯度:

$$\psi(x, y) = \nabla \sum_{k=1}^n s_k(x, y) \quad (4)$$

则 $V(p)$ 可以修改为: $V(p) = \text{sign} \langle \psi(p), V_0(p) \rangle > V_0(p)$ (5)

其中 $V_0(p) = \sqrt{\lambda_p} \cdot E(\lambda_p)$, $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 表示内积。由上式定义的 V 就是最终的输入多波段图像的对比度场。

1.3 单波段图像重构

所谓单波段图像重构就是定义了多波段图像的对比度场 V 。寻找一幅图像能够最好地体现对比度场 V 的信息, 也就是寻找一个梯度场最接近于 V 的函数 $f: \Omega \rightarrow R$ 。

直观做法就是解方程 $\nabla f = V$, 然而这个方程通常无解。解决办法是在误差的 L_2 范数意义下寻找最接近的函数, 即最小化如下泛函:

$$\iint_{\Omega} |\nabla f - V|^2 dx dy dz \quad (6)$$

这个泛函取极值时的 Euler-lagrange 方程为:

$$\begin{cases} \nabla^2 f = \text{div} V, \text{ on } \Omega \\ \nabla f \cdot n = V \cdot n, \text{ on } \partial \Omega \end{cases} \quad (7)$$

其中 n 是 Ω 的外法向量。

在 Neumann 边界条件下, 拉氏算子采用标准的五点近似一个简单的迭代形式求解为:

$$f_{i,j}^{t+2} = f_{i,j}^t + \frac{1}{4} [\Delta f_{i,j}^t - (\text{div} V)_{i,j}] \quad (8)$$

应用 Neumann 边界条件对式 (8) 进行改进, 得到以下迭代方案:

$$\begin{cases} f_{i,j}^{t+\frac{1}{2}} = f_{i,j}^t + \frac{1}{4} (\Delta f_{i,j}^t - \text{div} V)_{i,j} \\ f_{i,j}^{t+1} = (1-\omega) f_{i,j}^t + \omega f_{i,j}^{t+\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (9)$$

其中 ω 为弹性系数, $0 \leq \omega \leq 2$ 。

2 快速 C-V 分割方法

有的图像既无明显的边缘, 也缺乏明显的纹理特征。对这类图像如果能找到闭合曲线 C , 可将全部图像划分为内部区和外部区两个部分 Ω_1 和 Ω_2 , 使 Ω_1 内的图像部分与 Ω_2 图像的平均灰度恰好反映出对象与背景之间的灰度平均值的差别, 由此这一闭合曲线就可看出对象的轮廓。基于这一思路, CHAN T 和 VESE L^[5] 提出了下面的能量泛函, 即 C-V 模型:

$$E(c_1, c_2, C) = \mu \int_C ds + \lambda_1 \iint_{\Omega_1} (I - c_1)^2 dx dy + \lambda_2 \iint_{\Omega_2} (I - c_2)^2 dx dy \quad (10)$$

采用变分水平集方法, 在式 (10) 中引入 Heaviside 函数, 将其修改为:

$$E(c_1, c_2, C) = \mu \iint_{\Omega} \delta(u) |\nabla u| dx dy + \lambda_1 \iint_{\Omega_1} (I - c_1)^2 H(u) dx dy + \lambda_2 \iint_{\Omega_2} (I - c_2)^2 [1 - H(u)] dx dy \quad (11)$$

式 (11) 是一个非线性程度很高的抛物型偏微分方程 (PDE), 计算量很大, 需要特别地对 u 进行重新初始化使其成为符号距离函数。郭志昌^[6] 在离散 C-V 模型的框架下提出了一种混合快速新算法。

在 C-V 分割模型中, 式 (11) 中参数 μ 是保真项和正则项的平衡参数, 当图像的噪声消失, 或者图像比较模糊时, 这个参数就要小一些。如果对图像进行预先的光滑, 或假设图像是光滑的, 式 (11) 中参数 u 将会很小, 就可省去正则项。

首先假设原始图像是充分光滑的, 去掉式 (11) 中的第一项, 即简化 C-V 模型:

$$E(c_1, c_2, C) = \lambda_1 \iint_{\Omega_1} (I - c_1)^2 H(u) dx dy + \lambda_2 \iint_{\Omega_2} (I - c_2)^2 [1 - H(u)] dx dy \quad (12)$$

算法不再从任意的水平集 u 开始, 而是在灰度水平集范围内考虑离散情形的能量泛函。假设图像是 8 bit 灰度的图像, 这样的图像就是一个数组 $\{u_{i,j}\}$ 于格点 $D = \{(i, j), i=1, \dots, N; j=1, \dots, M\}$ 。不失一般性假设 $v: D \rightarrow P = \{k, k=0, \dots, 255\}$ 。在离散情形下泛函式 (12) 就是求下面的最小值:

$$E_1(c_1, c_2, D_1, D_2) = \sum_{(i,j) \in D_1} (v_{i,j} - c_1)^2 + \sum_{(i,j) \in D_2} (v_{i,j} - c_2)^2 \quad (13)$$

且:

$$c_1 = \frac{\sum_{(i,j) \in D_1} v_{i,j}}{|D_1|}, c_2 = \frac{\sum_{(i,j) \in D_2} v_{i,j}}{|D_2|}$$

3 实验结果及分析

进行实验的微光云图和红外云图源图像是分别取自美国国防气象卫星 (DMSP) 的 2008 年 1 月 6、7 日

技术与方法 Technique and Method

的卫星云图,进行融合前把微光云图的灰度级拉伸到256个灰度级。本文设计作如下对比实验,一是用变分融合方法(TV算法)进行微光和红外云图的融合获得融合云图,在融合云图基础上应用快速C-V模型(FC-V算法)进行云图分割;二是应用矢量图像的分割模型IAC模型(IAC算法)直接对微光和红外云图进行分割。

图1(a)、(b)分别为第一组微光和红外源图像,图1(c)是微光红外融合云图(TV算法),图1(d)是对融合云图的分割结果(FC-V算法),图1(e)是直接对微光和红外云图的分割结果(IAC算法)。图2(a)~(e)为第二组微光和红外源图像以及相应算法的结果。

由图1(c)和图2(c)可以看到,TV融合算法取得了良好的视觉效果,它将源图像中的有用信息集合起来,融合图像中保留了图像中更多的细节信息,融合图像中的云体都比任一源图像都清晰,云体纹理细致,图像的对比度都得到了提高,为云图分割提供了较好的基础。由图1(d)~(e)和图2(d)~(e)可以看到,对融合云图进行分割和对微光、红外云图直接进行分割的结果是不同的,在融合云图上分割的云系比较完整、丰富,纹理清晰,而在两通道云图上直接分割的云系部分出现断裂,有的则侧重于某一通道的信息,没有在融合云图上分割的结果优越。而且TV融合算法和FC-V算法的计算复杂度不高,速度较快。

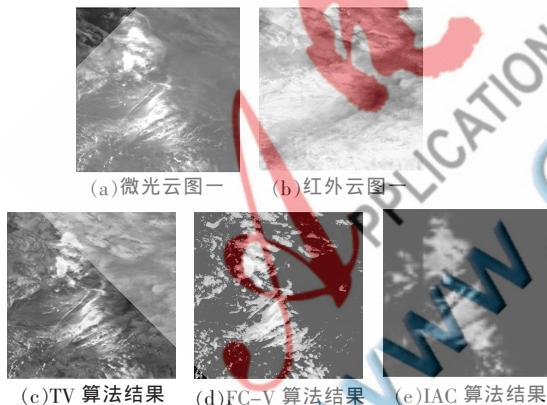


图1 微光云图一和红外云图一及其融合结果

本文将变分融合方法和快速C-V模型运用到气象卫星微光云图和红外云图的融合和分割中。实验结果显示经过融合后,融合图像取得了良好的视觉效果,融合

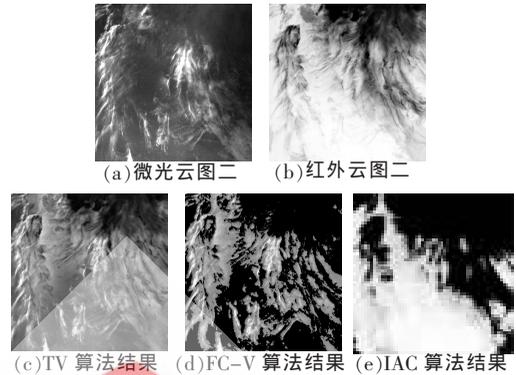


图2 微光云图二和红外云图二及其融合结果

图像中包含了更多的关于云的信息,云体清晰度提高,纹理细致,图像的对比度得到提高。在此基础上应用快速C-V模型对云图进行分割,可以快速地提取出云图中云体,且云体分割完整、丰富。

参考文献

- [1] SOCOLINSKY D A, WOLFF L B. Multispectral image visualization through first-order fusion[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 11(8):923-931.
- [2] SOCOLINSKY D A, WOLFF L B. A new visualization paradigm for multispectral imagery and data fusion[C]. In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1999:319-324.
- [3] Wang Chao, Ye Zhongfu. First-order fusion of volumetric medical imagery [C]. IEEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing, 2006, 153(2):191-198.
- [4] Zhou Zeming, Li Yuanxiang, Shi Hanqing, et al. A fast variational fusion approach for Pan-sharpening [C]. Proceedings-IEEE 10th International Conference on Signal processing. 2010: 1110-1113.
- [5] CHAN T F, VESE L. Active contours without edges[R]. CAM Report, UVLA.1998.
- [6] 郭志昌. 非线性反应-扩散方程在图像处理中的若干应用[D].吉林:吉林大学, 2010: 93-101.

(收稿日期:2011-12-09)

作者简介:

刘凯,女,1970年生,讲师,硕士,主要研究方向:遥感卫星图像处理、模式识别。