

一种快速图像块填充算法及其在遥感影像处理中的应用

陈 奋, 闫冬梅, 赵忠明

(中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

(chenfen@lab.irsas.ac.cn)

摘 要:针对 Drori 的图像块填充算法计算复杂度高, 计算量大的缺点, 提出了一个快速的改进算法。并结合光学遥感影像的特点, 将其应用到遥感影像中的厚云及阴影去除上。实验结果表明, 在能够取得近似相同结果的情况下, 本文算法与 Drori 算法相比, 能够较好地缩短计算时间。

关键词:图像块填充; 图像近似; 图像匹配; 图像块融合; 云去除;

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

Improved fast fragment-based image completion and its application in remote sensing image processing

CHEN Fen, YAN Dong-mei, ZHAO Zhong-ming

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China)

Abstract: Object removal from images and filling the left holes in a seamless manner is an important task for editing digital images. Based on Drori's works on 2003, an improved fast fragment-based image completion algorithm was proposed for removing clouds and clouded shadows from remote sensing images. Compared with Drori's algorithm, our method can remarkably reduce the computing time with almost identical results.

Key words: fragment-based image completion; image approximation; image matching; fragments compositing; clouds removal

0 引言

去除光学遥感影像上厚云及阴影的影响, 一直是遥感图像处理与复原的关键问题。

Bertalmio 等^[1,2]和 Olivera 等^[3]提出了一种基于偏微分方程(PDE)的图像修补算法, 将待修补区域周围的结构信息沿图像的等照度线向内部扩充, 取得了比较好的效果。

纹理合成技术^[4-6]可以进行较大的静态纹理或结构纹理区域的图像填充, 但是该方法依赖平滑性假设来从样本图像中估计未知区域值, 且收敛过程较慢。

Drori 等^[7,8]在 2003 年提出了一种基于块的图像填充算法, 能够对具有较大面积缺损的自然图像进行填充修补。该算法效果明显, 但是算法复杂, 计算量太大。

本文针对 Drori 算法速度慢的缺点, 在其基础之上提出了一个改进的快速图像块填充算法, 并将其应用到遥感图像中的厚云及阴影去除上, 取得了令人满意的效果。

1 Drori 图像块填充算法

Drori 算法输入是一幅去除了部分图像内容的待填充图像及待填充部分的二值掩膜图像, 输出是一幅在图像内容上协调一致的完整图像。该算法首先对图像进行金字塔分解, 然后在每一层通过循环不断地在图像内寻找合适大小的图像子块, 将其填补至图像空白处, 每层的结果作为下一层的近似图像。Drori 的图像块填充算法流程包括: 计算待填充部分的

近似图像; 计算待填充区域的置信度和水平集; 估计填充块大小; 图像块匹配和图像块融合。

1.1 图像输入

Drori 算法的输入是一幅图像 C , 以及通过图像编辑工具勾勒出去除部分的掩膜图像 $\bar{\alpha}$ 。 $\bar{\alpha}$ 包括三个部分: 去除区域、非去除区域和可能存在的边界灰色区域。如果像素点 i 落在去除区域, $\bar{\alpha}_i = 0$; 如果在非去除区域, $\bar{\alpha}_i = 1$; 如果落在灰色区域则 $1 < \bar{\alpha}_i < 0$ 。

1.2 图像近似

Drori 采用了一个多层金字塔循环卷积滤波处理^[7,9]过程首先得到待填充区域的近似图像。该算法首先通过下采样得到一个图像金字塔结构, 然后利用一个局部卷积核 K 在各层进行循环卷积处理。在低分辨率的情况下, K 所影响的范围大, 从而能得到一个平滑的粗近似, 在高分辨率的情况下, K 的影响范围小, 从而能得到图像细节的更好的近似。低分辨率的近似结果作为高分辨率近似的起始条件。通过循环不断在每层进行如下操作, 最后得到图像待填充区域的近似值。

$$Y_{t+1}^l = (Y_t^l \alpha + \bar{C})(*K_e \downarrow)^l (\uparrow * k_e)^l \quad (1)$$

$$Y_{t=0}^{l-1} = Y_{t=T(l)}^l \alpha + \bar{C} \quad (2)$$

其中 Y_t^l 表示在尺度 l 下 t 时刻的近似结果, $(*K_e \downarrow)^l$ 和 $(\uparrow * k_e)^l$ 表示对卷积核 k 进行 l 倍的下采样和上采样, $*$ 表示进行卷积操作, $\alpha = 1 - \bar{\alpha}$, $\bar{C} = C\bar{\alpha}$ 。

1.3 置信度及水平集计算

在待填充区域, 每个待填充像素周围的已知像素越多, 表

收稿日期: 2005-04-19; 修订日期: 2005-07-13 基金项目: 国家 863 计划项目 (2003AA135010)

作者简介: 陈奋 (1978-), 男, 江西九江人, 博士研究生, 主要研究方向: 遥感图像处理、图像复原; 闫冬梅 (1973-), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向: 遥感图像处理、多源遥感影像数据融合; 赵忠明 (1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 遥感图像处理、图像复原、纹理分析。

示它填充时可利用信息越多;已知像素离待填充像素越近,其可利用的价值也就越高,也即它的置信度越高^[7]。

$$\beta_i = \begin{cases} 1 & \text{if } \alpha_i = 1 \\ \sum_{j \in N(i)} g_j \alpha_j^2 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

置信度 β 的大小可以用来判断决定每次选择填充的图像块位置(target position),以及进行图像块匹配时作为一个比较参数。 g 是一个 Gauss 权重矩阵,越靠近待填充像素,权值越大。

为了避免完全按照从置信度最大到最小的顺序选择图像填充位置,Drori 引入了一定的随机性。通过式(4)来计算得到一个目标填充位置的水平集。

$$v_i = \begin{cases} 0 & \text{if } \beta_i > \mu(\beta) \\ \beta_i + \rho[0, \sigma(\beta)] & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

其中 $\mu(\beta)$ 表示图像置信度的均值, $\sigma(\beta)$ 表示图像置信度的标准差, $\rho[0, \sigma(\beta)]$ 表示一个概率在从0到 $\sigma(\beta)$ 之间的均匀分布的噪声。目标填充位置就是水平集中最大值的位置。

1.4 图像块大小选择

图像块的大小选择应该是与目标图像块的空间频率成反比的,也即目标位置附近的图像变化越激烈,图像块就应该越小;反之如果目标位置附近的图像变化越平缓,目标图像块就应该越大。Drori 提出可以用统计矩来标识目标位置附近的图像变化程度。

1.5 图像块匹配

在得到合适大小的目标图像块之后,就需要在图像中找到在与其最相似的源图像块。Drori 认为,图像匹配是整个填充算法中最重要的一环,因此,采用式(5)在图像中所有位置上都进行5个尺度和8个方向上的图像块匹配操作^[7]。

$$r^* = \arg \min_r \sum_{s=S_r(i), t=T(i), i \in N} (d(s, t) \beta_s \beta_t + (\beta_t - \beta_s) \beta_i) \quad (5)$$

其中 $d(s, t)$ 是源图像块和目标图像块的特征相似度, β_s 、 β_t 是源图像块和目标图像块的置信度。

1.6 图像块融合

在图像中找到了最相似的源图像块后,就需要将源图像块内容平滑地填充至目标图像块的空白区域中。为了得到较好的融合效果,Drori 采用了一种金字塔融合算法^[7]。

$$L_k(C_{out}) = L_k(C_F) G_k(\alpha_F) + L_k(C_B) G_k(\alpha_B) G_k(1 - \alpha_F) \quad (6)$$

其中 L_k 是 Laplaceian 金字塔的第 k 层, G_k 是 Gaussian 金字塔的第 k 层。

2 改进的 Drori 算法

Drori 算法可以通过块匹配来自动完成图像填充,虽然能够取得非常不错的效果,但其计算复杂度比较高,在文献[7]中提到,完成一幅 384×256 大小的图像,计算时间大致在83分钟~158分钟之间。在大多数情况下,这个计算量是难以接受的,因此无法实用化。而 TM 或者 SPOT 影像大部分都表现为较为简单的纹理,因此可以通过适当的改进 Drori 算法来达到快速填充的目的。

通过实验分析我们发现,由于引入了一定的随机性噪声,采用式(4)进行目标填充位置选择时,有可能造成目标图像块完全或者大部分落入待填充区域内部的情况;这个时候,根据自适应图像块大小选择算法,目标图像块的面积将会比较大;而且由于大部分目标图像块内容都来自于近似图像,而近

似图像是其周围图像的一个平滑滤波结果,所以它和图像其他区域的相似性都很大,因此就有可能造成图像块的误匹配;且一次填充过多的图像内容我们认为也是不安全的。

我们对这个步骤提出下面的改进:抛弃水平集的计算过程,而改为对图像的置信度进行排序,选择其中最大的10个置信度值,计算其周围的一个 9×9 小块的统计信息,选择其中方差较小的三个位置中的任意一个作为目标图像块位置 Pos_{dst} 。

通过大量图像实验表明:在图像块大小选择上,仅仅根据图像各个通道目标图像块的方差这样一个简单的对比度准则就已经能够取得比较好的结果了。同时,对于 TM 或 SPOT 遥感影像,在地物相对比较简单的区域,采用一个固定大小的图像块,对结果也并没有什么太大的影响。而在图像块的形状选择上,Drori 采用的是圆形图像块,而对于中等分辨率的遥感影像,采用矩形图像块的结果在视觉上与采用圆形图像块的填充效果相近;所以我们对该步骤的加速处理就是直接采用固定大小的矩形图像块进行填充处理。

在图像匹配问题中,Diror 算法匹配策略公式(5)还存在以下不足之处:

1) 当式(5)中 β_i 为0或者近似为0的时候,整个式子都为0,这个时候匹配相似度最好。而我们根据置信度计算式(3)可以看出,在待填充区域内部,大部分像素位置上的置信度都为0或者近似为0,这就可能会造成源图像块大部分或完全落入待填充区域内部的情况。

2) 没有考虑相邻图像块的高相似性。在图像中,相邻位置之间的相关性是非常大的,如图1所示,如果不将这点考虑进去的话,匹配结果源图像块的位置就有极大的可能落在目标位置的邻近像素上,最后这将导致填充图像过于单调,没有纹理的变化。

3) Drori 的匹配算法在5个尺度八个方向上同时进行,这虽然能够比较好的保证匹配到最合适的源图像块,但问题是是否真的需要这么复杂的匹配策略。实验表明:仅仅在3个合适的尺度,四个对称方向上进行图像块的匹配已经能取得比较好的匹配结果了,而且采用这种简化的匹配策略,误匹配也主要发生在图像中不同纹理部分的交界处,而对于图像中纹理近似相同的部分,即使在单尺度、目标图像块方向上进行匹配也能产生非常好的效果。而对于象 TM, SPOT 这种陆地遥感影像,地表主要表现为近似相同的简单纹理特征,所以直接在单尺度,目标图像块方向上进行匹配是可行的。

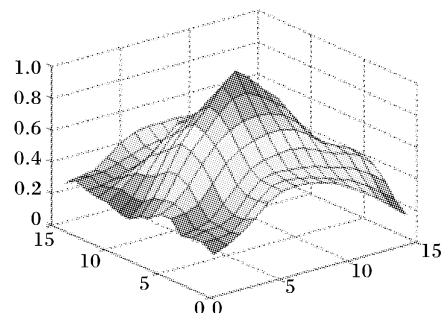


图1 图像块与其相邻位置之间的相关性

因此我们提出下面的改进匹配操作:

$$r^* = \arg \min_r \sum_{s=S_r(i), t=T(i), i \in N} d(s, t) (1 + \beta_s + \beta_t) \quad (7)$$

其中 $r \notin \{P \mid |P - Pos_{dst}| < \delta\}$; $d(s, t)$ 是源图像块和目标图像块的相似度, δ 是半径,取值一般为3或4。

在图像块融合中,采用式(6)虽然可以得到比较好的融合效果,但是算法比较复杂。我们通过实验发现,在 TM 图像上地物相对比较简单,纹理比较均一的区域中,将源图像块中的内容直接对应填充至目标图像块中的待填充位置,然后再对填充区域边缘进行一个较为简单的平滑滤波处理也能取得比较不错的融合效果。

3 试验结果及分析

图 2 是两幅 256×256 的 TM 影像,采用本文提出的改进算法和 Drori 算法的结果对比。实验在一台 P4 2.0GHz, 512MB 内存的机器上进行。可以看出,采用本文算法结果和 Drori 算法结果没有什么太大差别。在计算时间上,图 2(a)采用 Drori 算法的计算时间为 95 分钟,采用改进后算法的计算时间为 7 分钟。图 2(d)采用 Drori 算法的计算时间为 84 分钟,采用改进后算法的计算时间为 6 分钟。从我们的实验结果来看,本文的加速算法要比 Drori 算法快 10 倍以上。

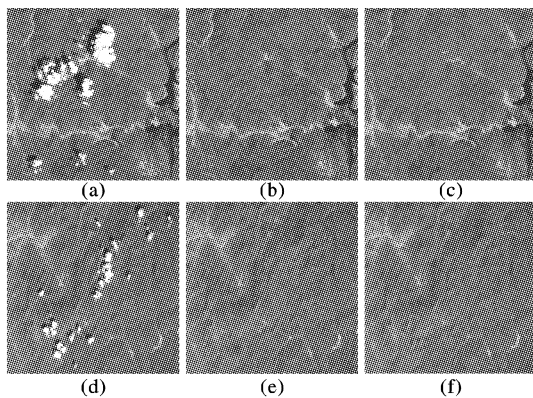


图 2 TM 影像实验结果

(上接第 2355 页)

起人的视觉注意的地方,在这些地方提取图像特征,有利于图像检索结果和人的视觉保持一致。但缺点是在纹理复杂的地方,显著点有一定程度的集中。

3 基于显著点的图像检索

显著点描绘了图像中物体的形状轮廓,因此可以从轮廓提取形状不变量。将选取的显著点标记为 1,没有选取的标记为 0,由此得到一幅二值图像,它简单描绘了物体的形状。我们计算形状的不变量作为图像的一个特征。根据文献[3],选取了 13 个不变量,分别为 7 个 Hu 不变量和 6 个轮廓不变量,它们对形状的改变有一定的抵抗能力。

在 1476 幅 JPEG 图像组成的图像库中,我们做了实验,并将实验结果与典型的 DCT 压缩域图像检索方法进行了比较,检索效率采用 P-R (Precision-Recall) 策略去衡量。实验结果如图 6 所示,从该图可看出,我们的方法与文献[6]方法接近,并明显地好于其他两种方法。

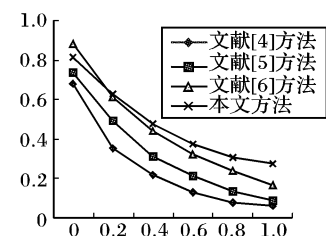


图 6 图像检索试验结果 P-R 图比较

4 结语

针对如 TM 等光学遥感影像纹理较为均匀单一的特点,在 Drori 算法基础之上提出了一个快速块填充算法,并将其应用到 TM 影像的厚云及阴影去除中。在能够取得满意效果的情况下,在计算时间上比 Drori 算法要快 10 倍以上。

参考文献:

- [1] BERTALMIO B, SAPIRO G. Vicent Caselles and Coloma Ballester. Image inpainting[A]. SIGGRAPH (2000)[C], 2000. 417 - 424.
- [2] BERTALMIO B, VESE L, SAPIRO G, *et al.* Simultaneous structure and texture image inpainting[J]. IEEE Trans. Image Processing, 2003, 12(8): 882 - 889.
- [3] OLIVEIRA MM, MCKENNA BB, MCKENNA R, *et al.* Fast Digital Image Inpainting[A]. Proceedings of the International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing (VIIP 2001)[C], 2001. 261 - 266.
- [4] EFROS AA, LEUNG TK. Texture synthesis by non-parametric sampling[A]. IEEE: International Conference on Computer Vision (ICCV'99)[C], 1999, 2: 1033 - 1038.
- [5] HARRISON P. A non-hierarchical procedure for re-synthesis of complex textures[a]. WSCG 2001[C], 2001. 190 - 197.
- [6] IGEHY H, PEREIRA L. Image replacement through texture synthesis[A]. IEEE: International Conference on Image Processing (ICIP'97)[C], 1997. 186 - 189.
- [7] DRORI I, COHEN-OR D, YESHURUN H. Fragment - based image completion[A]. SIGGRAPH (2003)[C], 2003. 303 - 312.
- [8] DRORI I, FISHBACH A, YESHURUN Y. Spectral Sound Gap Filling[A]. IEEE: International Conference on Pattern Recognition (ICPR'04)[C], 2004, 2: 871 - 874.
- [9] GORTLER SJ, GRZESZCZUK R, SZELISKI R, *et al.* The Lumi-graph[A]. SIGGRAPH (96)[C], 1996. 43 - 54.

4 结语

在 DCT 压缩域快速边缘提取算法的基础上给出了图像显著点的检测算法,该算法鲁棒性好,对常见的图像处理操作具有较好的抵抗能力。围绕显著点提取的图像特征不仅有较强的图像表现能力,而且运算量少,可能适合于大型图像库或 WWW 上的实时图像检索。

参考文献:

- [1] SEBE N, TIAN Q, LOUPIAS E. Evaluation of Salient Points Techniques[J]. Content-based Image and Video Retrieval, LNCS, 2002, 2383: 367 - 377.
- [2] 王桂华, 张问银, 唐建国. DCT 域图像边缘的快速提取[J]. 计算机应用, 2005, 25(1): 100 - 103.
- [3] SONKA M, HLAVAC V, BOYLE R. Image processing, analysis and machine vision[M]. USA: Brooks/Cole, Thomson Asia Pte Ltd, 2002: 254 - 265.
- [4] CLIMER S, BHATIA SK. Image database indexing using JPEG coefficients[J]. Pattern Recognition 2002, 35(11): 2479 - 2488.
- [5] FENG G, JIANG J. JPEG compressed image retrieval via statistical features[J]. Pattern Recognition 2002, 36(4): 977 - 985.
- [6] CHANG CC, CHUANG JC, HU YS. Retrieval digital images from a JPEG compressed image database[J]. Image and Vision Computing, 2004, 22: 471 - 484.