

应用邻域方差加权平均的 curvelet 变换融合

邱 宣¹,周则明²,胡友彬²

QIU Xuan¹,ZHOU Ze-ming²,HU You-bin²

1.中国卫星海上测控部,江苏 江阴 214431

2.解放军理工大学 气象学院,南京 211101

1.China Satellite Marinetime Tracking & Control Department,Jiangyin,Jiangsu 214431,China

2.Meteorology College of PLA University of Science and Technology,Nanjing 211101,China

E-mail:qiuxuan_er@163.com

QIU Xuan,ZHOU Ze-ming,HU You-bin.Appling region variance and weighted mean to image fusion of curvelet transform.Computer Engineering and Applications,2010,46(9):166-168.

Abstract: An efficient method of image fusion based on weighted mean and neighboring region variance of curvelet transform is proposed.Firstly,the multi-spectral and high resolution image is decomposed by curvelet transform.Then the curvelet coefficients of the fused image can be obtained by using different rules.The approximate coefficients come from the multispectral image,and the detail coefficient is based on the neighboring region variance.Finally,the fused image is obtained by inverse curvelet transform.The experiment results show that the method can improve the average gradient and preserve spectrum index commendably.

Key words: image fusion;curvelet transform;neighboring region variance

摘 要:提出一种基于邻域方差加权平均的多源遥感图像曲波变换融合方法。将低分辨率的多光谱图像和高分辨率的全色图像作曲波变换,融合图像的曲波系数中的低频分量取多光谱图像的低频分量,中高频系数与高频系数采用邻域方差加权平均的方法由两幅图像曲波变换系数共同决定。逆曲波变换得到融合图像。实验表明算法有效提高了图像的清晰度和保持了光谱特性。

关键词:图像融合;曲波变换;邻域方差

DOI:10.3778/j.issn.1002-8331.2010.09.047 **文章编号:**1002-8331(2010)09-0166-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP391

1 引言

曲波已经历了两代的发展过程,Candes E.j和 Donoho D.L.于1999年首次提出曲波变换理论^[1],该理论由脊波理论衍生而来,被称作“curvelet99”,也即第一代曲波。第一代曲波的实现较为复杂(具体实现见参考文献[2]),需要子带分解、平滑分块、正规化和脊波分析等一系列步骤,而且冗余度高达 $16J+1$ (J 为分解级数)。因此Candes E.j等在频域中直接给出了Curvelet基的具体表示形式,提出了实现更为简单的快速曲波变换算法,即第二代曲波^[3],在此基础上文献[4]给出了其快速离散实现算法。曲波变换能够有效地描述具有曲线或超平面奇异性的高维信号。

一幅图像经过 N 尺度曲波变换后。最内层为coarse层,是低频系数。最外层即第 N 层为fine层,是高频系数。 $2\sim N-1$ 层是detail层,是中高频系数层。低频分量代表图像的轮廓。高频系数体现图像的细节和边缘特征。中高频系数也主要包含图像的边缘特征,而且具备多方向性。绝对值较大的中高频和低频

系数对应于图像重要的细节和边缘特征,所以这部分融合规则直接决定了图像的融合效果。针对遥感图像的曲波变换融合一般采取的融合规则为^[5]:粗尺度系数采用多光谱图像的粗尺度系数,细尺度系数采用模值绝对值大的细尺度系数。基于像素的融合规则在融合处理时表现出对边缘的高度敏感性,高频分量是对细节和边缘的描述,像素间有较强的相关性,所以在设计融合规则时要基于邻域,考虑像素间的相关性。

2 基于曲波变换的融合方法

Curvelet继承和发展了小波分析优良的空域和频域局部特性,是一个新的多尺度变换分析工具,其相对于小波的优势在于更加适合描述图像的几何特征,更适合提取图像的细节信息。这是因为小波采用的是“块基”(block base),在逼近边缘时常常会产生环绕现象,模糊了边缘^[6];而curvelet采用的是“楔形基”逼近,与小波最大的差异就是具有任意角度的方向性,不像小波只具有水平、垂直、对角线3个方向,所以是各向异性的^[7]。

基金项目:国家部委预研基金资助项目(the Pre-Research Foundation of China Ministries and Commissions)。

作者简介:邱宣(1985-),男,硕士,主要研究方向为图像处理和计算机视觉;周则明(1966-),男,博士,副教授,主要研究方向为模式识别与智能系统;胡友彬(1967-),男,副教授,主要研究方向为信号与信息处理。

收稿日期:2009-02-16 **修回日期:**2009-04-17

在楔形分块中,只有当逼近基与奇异性特征重叠,即其方向与奇异性特征的几何形状匹配时,才具有较大的 curvelet 系数。此外,curvelet 较之小波具有更好的稀疏表达能力,它能将图像的边缘,如曲线、直线特征用较少的大的 curvelet 变换系数表示,克服了小波变换中传播重要特征到多个尺度上的缺点,变换后能量更加集中,更利于跟踪和分析图像的重要特征^[8]。因此,将 curvelet 变换引入图像融合,可以利用 curvelet 分析更好地提取原始图像的特征,为融合图像提供更多的信息^[9]。

融合的基本步骤为:

- (1)对源图像进行曲波变换,得到不同分辨率层次下曲波系数,包括 coarse 层、detail 层和 fine 层。
- (2)根据融合应用目的的不同,对不同尺度层采用不同的融合规则进行处理。对于多光谱与全色图像融合常用的规则为:粗尺度系数采用多光谱图像的粗尺度系数,细尺度系数采用模绝对值大的细尺度系数。最终得到融合后的各层曲波系数。
- (3)对融合的各层曲波系数进行曲波逆变换得到融合图像。融合流程如图 1 所示。

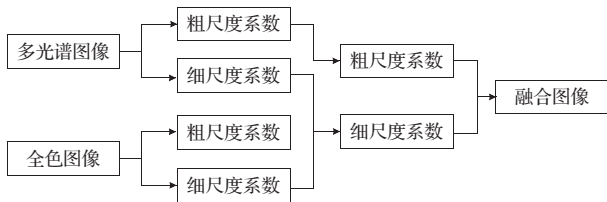


图 1 多源遥感图像融合流程图

3 遥感图像的曲波变换融合规则设计

高分辨率的全色图像反映了空间结构信息,能够充分描述地物的细节等特征,但频谱分辨率较低,不能较好地描述地物的光谱信息。低空间分辨率的多光谱图像光谱信息丰富,对地物的识别与解释起到重要作用。如果将多光谱图像和全色图像进行融合,则可以在提高多光谱图像清晰度的同时保持其光谱特性,以便改善后续处理效果,满足不同应用需求^[10]。引言中提到的曲波一般融合规则是基于单像素的融合,融合效果表现出对图像中边缘和细节的高度敏感性,这就要求融合前要做精确的配准等操作,增加了预处理难度。在设计融合规则时,要基于局部特征,在邻域内平衡多光谱图像对光谱特性保持的影响和全色图像对清晰度的影响。文献[11]在小波变换的基础上采用区域特征进行小波系数的融合处理。文献[12]提出了基于邻域方差加权平均的小波融合方法,在邻域内按方差大小对高频小波系数进行加权平均。文献[13]比较邻域内方差与预设阈值之间的大小,按不同方式处理小波系数。在曲波变换域内,用邻域方差加权平均的方法设计融合规则,由两幅源图像曲波变换所得的高频系数共同决定融合图像高频系数。融合图像曲波系数设计如下:

- (1)coarse 层即低频系数采用多光谱图像的粗尺度系数。
- (2)detail 层和 fine 层,即中高频和低频分量采用基于邻域内方差加权平均的方法确定。定义以 (i, j) 为中心,邻域 M 内的方差:

$$I(i, j) = \sum_{(x, y) \in M} [V(x, y) - \mu_M]^2$$

$V(x, y)$ 为高频子图, μ_M 表示邻域内均值。设 I_a 为高分辨率全色图像曲波变换后高频系数矩阵中,以 (i, j) 为中心,3×3 邻域的方差。 I_b 为多光谱图像曲波变换后高频系数矩阵中,以 (i, j) 为中心,3×3 邻域的方差。

定义权值:

$$\begin{cases} K_a = \frac{I_a}{I_a + I_b} \\ K_b = \frac{I_b}{I_a + I_b} \end{cases}$$

则曲波高频系数:

$$C\{J\}\{L\}(i, j) = K_a * C_a\{J\}\{L\}(i, j) + K_b * C_b\{J\}\{L\}(i, j)$$

$C_a\{J\}\{L\}(i, j)$ 与 $C_b\{J\}\{L\}(i, j)$ 分别表示多光谱图像和全色图像曲波变换后高频系数矩阵相应点的系数。

4 实验及结果分析

实验数据来自 QuickBird 的全色波段和蓝绿红 3 个波段,目标区域上海市某城区,如图 2(a)所示全色波段的高分辨率图像和图 2(b)所示蓝绿红波段合成的多光谱彩色图像。分别采用该文设计规则与引言中提到的一般融合规则进行融合实验,曲波变换 5 层。对于融合效果的衡量该文主要考虑两个方面,一是图像的空间细节信息的表现程度,如信息熵、方差和清晰度。另一是图像的光谱特性保持情况,如偏差指数和相关系数等。信息熵表征了图像包含信息的多少。方差反映了灰度相对于均值的分散情况,方差越大,则灰度级分布得越分散,图像中所有灰度级出现概率越趋于相等,从而包含的信息量越趋于最大。清晰度是指图像的清晰程度,它反映了图像中的微小细节反差和纹理特征变化特征,清晰度越高,说明融合效果越好。偏差指数表示融合图像和源图像的偏离程度,偏差指数越小,说明两幅图像越接近,在遥感图像融合中,偏差指数用来比较融合图像与低分辨率多光谱图像的偏离程度,偏差指数越小,融合图像与多光谱图像之间的偏差就越小,光谱信息就得到了更好的保持,融合效果就越好。相关系数用来衡量融合图像与多光谱图像之间的相关程度,相关系数接近于 1,说明两幅图像越接近,融合效果越好。



图 2(a) 全色图像

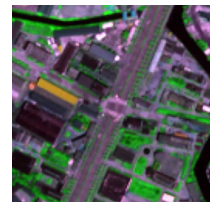


图 2(b) 多光谱图像



图 2(c) 融合图像 1

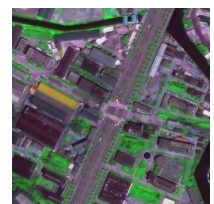


图 2(d) 融合图像 2

如表1所示,据分析可知,RGB 3个通道的多光谱图像信息熵、方差和相关系数都得到了提高,其中R、G、B波段信息熵分别提高了:7.123 6-7.019 0=0.104 6,7.310 1-7.195 6=0.114 5,7.240 9-7.156 8=0.084 1,说明该文融合方法所得结果携带的信息量更大,细节表现能力更强。

表1 融合效果衡量参数

	信息熵	清晰度	方差	偏差指数	相关系数
一般融合规则 R 分量	7.019 0	7.850 5	33.170 8	0.249 5	0.900 1
一般融合规则 G 分量	7.195 6	9.127 1	37.039 8	0.250 0	0.885 6
一般融合规则 B 分量	7.156 8	8.125 4	36.030 9	0.261 0	0.915 7
该文融合规则 R 分量	7.123 6	7.811 7	35.862 3	0.233 6	0.927 2
该文融合规则 G 分量	7.310 1	9.012 9	40.353 0	0.227 7	0.916 0
该文融合规则 B 分量	7.240 9	8.082 0	38.292 9	0.242 2	0.938 5

方差分别提高了:35.862 3-33.170 8=2.691 5,40.353 0-37.039 8=3.313 2,38.292 9-36.030 9=2.262,说明该文融合方法所得图像的灰度级更分散,包含的信息量更大。

相关系数分别提高:0.927 2-0.900 1=3.0%,0.916 0-0.885 6=3.4%,0.938 5-0.915 7=2.5%,说明该文方法的融合图像与多光谱图像的相关性更强,光谱特性保持较好。

偏差指数分别降低:0.249 5-0.233 6=6.4%,0.250 0-0.227 7=8.9%,0.261 0-0.242 2=7.2%,说明该文方法所得融合图像与多光谱图像的偏离程度较小,光谱扭曲较少。

另外,两种融合方法的清晰度相差不大,对于低分辨率图像的清晰度改善都较好。根据以上比较该文设计的融合规则明显优于引言中提到的融合规则。引言中提到的一般性融合规则所得融合图像如图2(c),该文融合规则所得到的融合图像如图2(d)。

针对图像在某一特定局部邻域内的像素间往往具有相关性,结合多光谱图像和全色图像融合特点,提出了基于曲波变换的邻域方差加权平均融合方法,并给出实现方法,实验结果表明该方法在保持光谱特性和提高图像信息熵方面具有优势,而且有效改善图像的清晰度,是较好的融合方法。

(上接 154 页)

其中,采样精度是沿xyz轴向对原始数据的重采样,可视化过程采用RayCasting算法完成数据的体绘制,文件压缩比率为表中“数据处理后最终大小”与“分割前数据大小”之比。

5 结语

着眼于3D重构模型给出了一种直观的数据分割方式,提供便利的交互工具获取生长种子,将区域生长法由2D扩展到3D空间,实现感兴趣部位的整体分割,进一步结合数学形态法消除数据的病态关联,完成局部对象的精确分割。最后,修改数据存储文件,将分割后的感兴趣区域从数据掩模中分离出来,实现对象的分离存储同时又能保留特定信息,减少数据冗余,压缩数据文件,完成分割数据的后期处理,为分割后数据的远程传输创造条件。

此外,基于VTK的系统平台开发方式,可以充分利用已有的可视化开源开发库,大大缩减设计和开发的时间,使研究人

参考文献:

- [1] Candes E J, Donoho D L. Curvelet—A surprising effective nonadaptive representation for objects with edges[M]// Rabut C, Cohen A, Schumaker L L. Curves and Surfaces. Nashville, TN: Vanderbilt University Press, 2000: 105–120.
- [2] Donoho D L, Duncan M R. Digital curvelet transform: Strategy, implementation and experiments[J]. Proc SPIE, 2000, 4056: 12–29.
- [3] Candes E J, Donoho D L. New tight frames of curvelets and optimal representations of objects with piecewise-C2 singularities[J]. Comm on Pure and Appl, 2004, 57: 219–266.
- [4] Candes E J, Demanet L, Donoho D L, et al. Fast discrete curvelet transforms[R]. Applied and Computational Mathematics, California Institute of Technology, 2005: 1–43.
- [5] 李晖晖, 郭雷, 刘坤. 基于曲波变换的遥感图像融合研究[J]. 电子激光, 2008, 19(3).
- [6] 焦李成, 侯彪, 王爽, 等. 图像多尺度几何分析理论与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2008.
- [7] 张九龙, 张志禹, 屈小娥, 等. 基于 Curvelet 的人脸识别[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(27): 199–200.
- [8] 李晖晖, 郭雷, 刘航. 基于二代 Curvelet 变换的图像融合研究[J]. 光学学报, 2006, 26(5).
- [9] Choi M, Kim R Y, Myeong-Ryong N, et al. Fusion of multispectral and panchromatic satellite images using the curvelet transform[J]. IEEE Geosciences and Remote Sensing Letters, 2005, 2(2).
- [10] 余二永, 王润生. 小波变换实现多光谱图像融合增强[J]. 计算机工程与科学, 2001, 23(1).
- [11] 郭志强. 基于区域特征的小波变换图像融合方法[J]. 武汉理工大学学报, 2005, 27(2): 65–71.
- [12] 李敏, 张小英, 毛捷. 基于邻域方差加权平均的小波图像融合[J]. 理论与方法, 2008, 27(1).
- [13] 曾基兵, 陈怀新, 王卫星. 基于改进局部方差的小波图像融合方法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(32): 72–74.

员能集中精力于算法的研究与实现,并在同一平台上完成相关算法的分析比较。

参考文献:

- [1] Olabariaga S D, Smeulders A W M. Interaction in the segmentation of medical images: A survey[J]. Medical Image Analysis, 2001, 5: 127–142.
- [2] 魏弘博, 吕振肃, 蒋田仔, 等. 图像分割技术纵览[J]. 甘肃科学学报, 2004, 16(2): 19–24.
- [3] 彭延军, 石教英. 快速有效的半自动组织分割技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2003, 15(6): 736–740.
- [4] 李文岗, 薛斌党, 姜志国. 一种三维规则数据场中复杂组织快速分割方法[J]. 中国体视学与图像分析, 2008, 13(2): 106–110.
- [5] 张海波. 医学 CT 图像的三维分割与可视化研究[D]. 山东: 山东师范大学, 2005.
- [6] 徐园, 符影杰. 一种三维分割算法在超声序列图像分割中的应用[J]. 电子工程师, 2006, 32(1): 34–36.
- [7] Mathematical morphology[EB/OL]. (2008-09-20)[2008-10-14]. http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_morphology.