

基于复数小波变换的遥感图像融合新算法

邢 帅¹ 谭 兵² 徐 青¹ 李建胜¹

(1 信息工程大学测绘学院,郑州市陇海中路 66 号,450052)
(2 江南遥感应用研究所,上海市 072-039 信箱,200072)

摘 要:提出了一种基于复数小波变换的影像融合新算法,用以融合全色影像和多光谱影像。试验结果表明,该算法可以取得比传统的实数小波变换融合算法更好的效果。
关键词:复数小波变换;多分辨分析;图像融合
中图法分类号:TP751; TP79

小波变换由于其良好的时频分离特性以及接近人类视觉系统的多分辨分析,在图像融合中得到了广泛的应用,并已经形成了较成熟的算法。但是经典小波变换有两个突出的缺点,一是不具备平移不变性,二是得到的高频分量的方向非常有限。剑桥大学的 Kingsbury 教授针对这些问题提出了复数小波变换的概念,复数小波已经在图像复原与降噪^[1-3]、运动估计^[4]、图像分类^[5]、纹理分析^[5-7]、图像增强^[2]、图像匹配^[8]等方面得到了应用,并表现出良好的性质。本文利用复数小波变换产生的多分辨分析进行遥感影像的融合。

1 基于复数小波变换的图像融合算法

复数小波变换完全可以用来进行图像融合,其理由是:①复数小波变换具有近似的平移不变性,这一性质使得输入信号即使有少量的偏移,也不会引起各个尺度下的小波系数发生剧烈的变化,因此,在复数小波变换图像融合中,不会出现混淆干扰的情况。②复数小波变换具有良好的方向性,这是实数小波变换远不能及的。这样,可以从高分辨率图像中分离出更多的细节信息,使得融合图像的细节表现力更加接近于高分辨率图像。③复数小波变换产生的数据冗余是有限的,而且不会随变换层次的增加而变化,同时计算效率高,非常适合应用于图像融合。

基于复数小波变换的图像融合过程如图 1 所示。首先以低分辨率图像的各个波段为参考图像来对高分辨率图像进行直方图匹配,形成几个图像。然后对这几个图像进行复数小波变换,以形成各自的低频图像和高频细节信息,用原始低分辨率图像的低频图像作为复数小波变换后的低频图像,对应的高频细节信息按照一定准则进行融合,生成一组新的高频细节信息,对替换后的低频图像及新的细节信息进行复数小波逆变换,从而获得融合图像。

在图像融合过程中,低频部分的融合准则是直接选择多光谱图像的低频部分,而高频部分不仅包含了原图像的空间信息,而且包含了光谱信息,因此,这部分并不能直接用高分辨率影像的高频部分来替换。考虑到复数小波变换后的图像可以分为假设的虚部和实部,而这两部分通过复数形式结合取模之后,会更加清晰地显示出复数小波的方向选择性,因此,考虑以模值作为影像高频部分融合的准则。取点 (i,j) 在高分辨率影像上的实部与虚部的小波系数为 $W_R^H(i,j)$ 、 $W_I^H(i,j)$,在低分辨率影像上的实部与虚部的小波系数为 $W_R^L(i,j)$ 、 $W_I^L(i,j)$,那么点 (i,j) 在高分辨率影像和低分辨率影像上的模分别为:

$$M^H(i,j) = \sqrt{(W_R^H(i,j))^2 + (W_I^H(i,j))^2}$$
$$M^L(i,j) = \sqrt{(W_R^L(i,j))^2 + (W_I^L(i,j))^2} \quad (1)$$

点 (i,j) 的小波系数 $CW(i)$ 按下式取值:

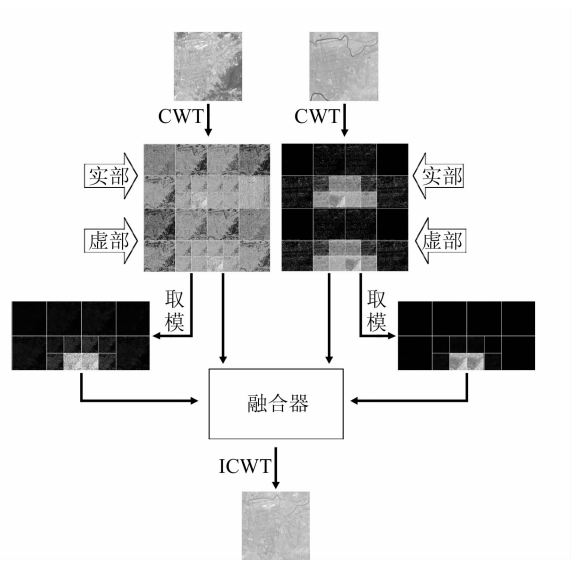


图 1 基于复数小波变换的图像融合流程

Fig. 1 Procedure of Image Fusion Based on Complex Wavelet Transform

$$CW(i,j)=\begin{cases} W^H(i,j), M^H(i,j)\geqslant M^L(i,j) \\ W^L(i,j), M^H(i,j)<M^L(i,j) \end{cases} \quad (2)$$

这样的融合准则很好地保存了高分辨率影像在各个方向上的细节信息,同时又最大限度地保留了低分辨率影像的光谱信息。

2 试验结果分析

本文选择了三组试验数据进行试验。第一组

数据为某地区的 SPOT5 全色影像和 SPOT5 多光谱影像,分辨率分别为 2.5 m 和 10 m;第二组数据为某城区的 IKONOS 全色影像和 IKONOS 多光谱影像,分辨率分别为 1 m 和 4 m;第三组数据为某地区的 SPOT4 全色影像和 TM 多光谱影像,分辨率分别为 10 m 和 30 m。每组中的试验图像都经过了严格的配准。

为了对试验结果进行比较分析,对各组图像还进行了 IHS 变换融合、二进制实数小波融合以及二进制实数小波包融合,其中,IHS 变换融合中选择了公认效果最好的球体模型,实数小波和小波包融合则进行了不同尺度 $i(i=2,3,4)$ 下的融合,并将它们与同尺度下的复数小波融合进行了比较。图 2 给出了第一组试验的原始图像和融合图像的局部区域,复数小波变换尺度为 4。

观察图 2 可以发现,复数小波变换融合图像与 IHS 变换融合图像的空间分辨率的提升都非常明显,均接近于原始高分辨率图像;而其光谱特征与实数小波变换和小波包变换融合图像非常接近,很好地继承了多光谱图像的光谱特性。在各个变换尺度下的复数小波变换融合图像都表现为图像平滑清晰、无锯齿现象、细节突出,这说明复数小波变换的融合算法是一种非常有效的图像融合算法。

此外,还通过影像质量评价指标来定量地评

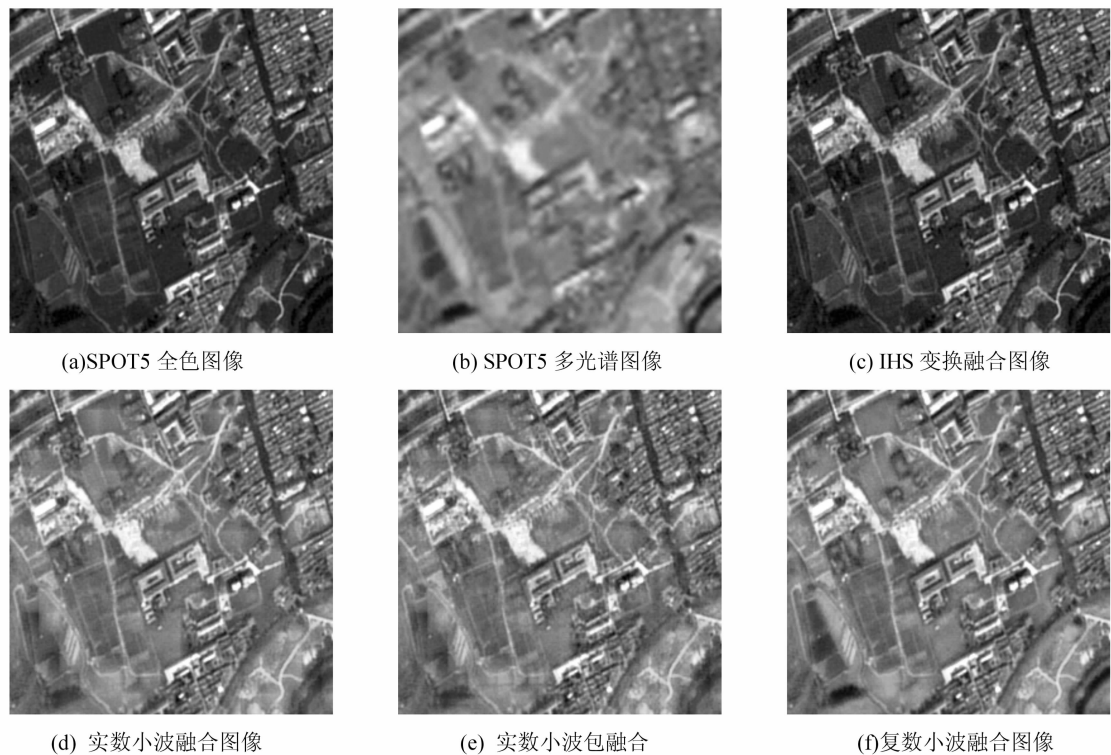


图 2 第一组试验的原始图像和结果图像

Fig. 2 Original and Fused Images in Experiment 1

价融合图像,以更准确地反映复数小波变换融合算法的性能,统计结果见表 1。本文选择了三个常用的影像质量评价指标,即标准差、信息熵、平均梯度,用于统计影像的信息量、微小细节反差、纹理变化特征以及清晰度。另外,还补充了一个新的评价指标——分形维数。维数越高的图像,其几何结构就越复杂,也就是图像的纹理特征越丰富。因此,可以用分形维数来描述图像纹理特征的丰富程度以及灰度变化的剧烈程度。

表 1 第一组试验影像的质量统计
Tab. 1 Statistics of Quality Indexes for Evaluating Images in Experiment 1

图像	变换尺度	标准差	信息熵	平均梯度	分形维数
SPOT5 全色	—	50.016 332	6.167 958	12.083 298	2.924 429
SPOT5 多光谱	—	51.347 228	11.719 639	5.418 421	2.841 461
IHS 变换融合	—	51.806 193	11.651 917	11.369 237	2.912 869
实数小波融合	2	53.625 477	12.930 227	12.040 818	2.877 262
实数小波包融合	2	53.587 737	12.931 333 3	11.923 376	2.876 664
复数小波融合	2	55.190 366	12.997 777	14.921 271	2.904 464
实数小波融合	3	54.801 902	12.907 539	12.373 185	2.881 394
实数小波包融合	3	54.647 341	12.913 956	12.068 706	2.879 351
复数小波融合	3	54.772 127	12.962 898	12.920 038	2.894 95
实数小波融合	4	54.477 165	12.899 064	12.172 696	2.878 488
实数小波包融合	4	54.098 821	12.913 077	11.873 419	2.875 938
复数小波融合	4	55.093 667	12.947 379	12.347 622	2.901 173

3 结 语

本文针对传统实数小波变换中的一些缺点,引入了复数小波变换的概念,提出用复数小波变换进行图像融合,并设计实现了基于复数小波变换的图像融合算法。试验中,将该算法与传统的实数小波变换融合算法以及 IHS 变换图像融合算法进行了比较,证明了该算法确实可以取得很好的效果。本文内容是对复数小波变换应用于图像融合的一个很好的尝试,其深入的应用有待进一步研究。

参 考 文 献

[1] Jalobeanu A , Blanc-Féraud L, Zerubia J. Satellite Image Deconvolution Using Complex Wavelet Packets[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2000, 3 (9):809-812

[2] Kingsbury N. The Dual-tree Complex Wavelet Transform: a New Efficient Tool for Image Restoration and Enhancement[C]. European Signal Processing Conference, EUSIPCO'98, Rhodes, 1998

[3] de Rivaz P, Kingsbury N. Bayesian Image Deconvolution and Denoising Using Complex Wavelets[C]. IEEE Conf. on Image Processing, Greece, 2001

从表 1 可以看出,在三组试验中,复数小波变换融合均表现出了良好的性能,这表现在复数小波变换融合图像的各项指标值明显优于原始影像和 IHS 变换融合图像,而且其在各个尺度下的值还要优于对应尺度下的实数小波与小波包变换融合图像。试验结果充分表明,本文提出的基于复数小波变换的图像融合算法是非常有效的,可以获得很好的融合结果。

[4] Magarey J, Kingsbury N. Motion Estimation Using a Complex-valued Wavelet Transform [J]. IEEE Trans on Signal Processing, Special Issue on Wavelets and Filter Banks, 1998, 46(4): 1 069-1 084

[5] Hatipoglu S, Mitra S K, Kingsbury N. Texture Classification Using Dual-tree Complex Wavelet Transform[J]. Image Processing and Its Applications,1999, 1(13/15): 344-347

[6] Kingsbury N G. The Dual-tree Complex Wavelet Transform: a New Technique for Shift Invariance and Directional Filters [C]. The 8th IEEE DSP Workshop, Bryce Canyon UT, USA, 1998

[7] Portilla J, Simoncelli E P. Texture Modeling and Synthesis Using Joint Statistics of Complex Wavelet Coeffici-ents[C]. IEEE Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision, Fort Collins, 1999

[8] Jiang Hanping, Wang Jianmin. Application of Complex-valued Wavelet Transform to Image Matching [J]. Journal of Jiangxi Institute of Education (Natural Science), 2001, 21(6):29-31

第一作者简介:邢帅,博士生。主要研究方向为数字摄影测量、遥感影像处理与分析。
E-mail:xing972403@163.com

Application of Spatio-temporal Reasoning Model Based on Hyper-graph Theory

LUO Jing¹ CUI Weihong¹ NIU Zhenguo¹

(1 Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences,
Datun Road, Chaoyang District, Beijing 100101, China)

Abstract: The main fruits of hyper-graph’s applications are summarized, the various spatio-temporal data model and spatio-temporal reasoning model are compared. Some new concepts of spatio-temporal model that is called spatio-temporal reasoning model based on hyper-graph theory are put forward. This model is used to the rotating planning management of tobacco in the Honghe Prefecture of Yunnan province. Through practice, this model has implemented the integration of space and time, having the complete connotation.

Key words: object-oriented; hyper-graph; spatio-temporal data model; spatio-temporal reasoning model

About the first author: LUO Jing, Ph. D., majors in GIS, RS and spatio-temporal reasoning model.
E-mail: rudy_luo@163.com

(上接第 77 页)

A New Algorithm for Remote Sensing Image Fusion Using Complex Wavelet Transform

XING Shuai¹ TAN Bing² XU Qing¹ LI Jiansheng¹

(1 Institute of Surveying and Mapping , Information Engineering University,
66 Middle Longhai Road, Zhengzhou 450052, China)
(2 Jiangnan Institute of Remete Sensing Application, P. O. Box 072-039, Shanghai 200072, China)

Abstract: The theoretical basis of complex wavelet is described together with its key properties; a new method for fusing remote sensing images based on complex wavelet is proposed. Experiment results show that the fusion method based on complex wavelet transform is remarkably better than that based on classical discrete wavelet transform.

Key words: complex wavelet transform; multiresolution analysis; image fusion

About the first author: XING Shuai, Ph. D candidate, majors in digital photogrammetry and remote sensing image processing and analysis.
E-mail: xing972403@163.com