

## 基于 DCT 的遥感图像融合算法\*

曹 流<sup>1,2</sup>, 金龙旭<sup>1</sup>, 陶宏江<sup>1</sup>, 李国宁<sup>1</sup>, 韩双丽<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;  
2. 中国科学院大学 北京 100049)

**摘 要:** 提出一种结合离散余弦变换(DCT)与 GIHS 变换的遥感影像融合方法。该方法根据 DCT 的性质直接在 DCT 域进行遥感图像融合, 适合于实时系统。对现有算法的融合实验结果进行比较, 通过主观和客观评价, 该方法能在提高空间分辨率与保持光谱特性之间得到更好的折中。

**关键词:** 图像融合; 离散余弦变换; IHS 变换; 压缩域

中图分类号: TP 391 文献标识码: A 文章编号: 1000-9787(2015)09-0124-04

## Remote sensing image fusion algorithm based on DCT\*

CAO Liu<sup>1,2</sup>, JIN Long-xu<sup>1</sup>, TAO Hong-jiang<sup>1</sup>, LI Guo-ning<sup>1</sup>, HAN Shuang-li<sup>1</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** A remote sensing image fusion method which combines discrete cosine transform(DCT) and GIHS transform is proposed. The proposed approaches can be applied in DCT domain for remote sensing image fusion according to DCT transform features, so it is suitable for real-time system. Compared with fusion experiment result of existing algorithm, through subjective and objective evaluation, this method can obtain better tradeoff between improving spatial resolution and preserving spectral characteristics.

**Key words:** image fusion; discrete cosine transform(DCT); IHS transform; compressing domain

### 0 引言

通过全色传感器得到的图像往往有较高的空间分辨率, 但是不具有光谱信息; 多光谱传感器得到的图像虽然分辨率不高, 但是有很丰富的光谱信息。因此, 可以对这两种传感器图像进行融合从而得到比较清晰的多光谱图像。常用的遥感影像融合方法<sup>[1-6]</sup>主要有: 色彩变换方法(如 IHS 变换等); 统计和数字方法(如 PCA 变换、Brovey 变换、高通滤波法、线性加权法等); 多分辨率分析方法(如小波变换、金字塔分解法)以及上述各种方法的结合运算。IHS 方法、Brovey 算法和 PCA 算法实现容易, 应用很广, 但是它们的融合结果存在较大的光谱畸变; 基于多分辨率分析的融合方法(如 NSCT), 可以获得比较理想的融合图像, 但这类方法往往需要较大的计算量, 实现比较复杂, 难以满足日益海量的卫星遥感图像处理的实时性要求。

本文提出一种基于离散余弦变换(DCT)的遥感图像融合算法, 该算法在提高空间分辨率与保持光谱特性之间得到更好折中。

### 1 GIHS 变换和离散余弦变换

基于 IHS 变换的融合方法是最常用的遥感图像融合方法, 但是传统的 IHS 变换需要较大的计算量, 不适合软件和硬件实现, 文献[7]提出了一种快速的 IHS 变换方法(GIHS), 即

$$\begin{pmatrix} R_{\text{new}}(i, j) \\ G_{\text{new}}(i, j) \\ B_{\text{new}}(i, j) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_0(i, j) + \delta \\ G_0(i, j) + \delta \\ B_0(i, j) + \delta \end{pmatrix}. \quad (1)$$

其中  $\delta = I_{\text{new}}(i, j) - I_0(i, j)$ 。

为了充分利用多光谱波段和全色波段的特点, 利用强度定义

$$I(i, j) = [R(i, j) + G(i, j) + B(i, j)]/3. \quad (2)$$

离散余弦变换(discrete cosine transform, DCT)压缩能力接近 KLT。它具有良好的去相关特性和快速算法, 已被国际压缩标准如 JPEG, MPEG-4, H. 263 等普遍采用<sup>[8]</sup>。DCT 系数很好地体现了分块的频域特性: 对一幅数字图像进行 DCT 后, 得到的矩阵从左到右, 从上到下频率逐渐增大。

遥感影像数据往往是压缩后传输和保存的,因此,在压缩域进行图像融合是十分必要。与传统的图像压缩和融合相互分离的处理模式相比,基于压缩域的图像融合省略了解压缩和再压缩的附加环节,使得系统总体处理时间大大减少。

目前对压缩域的遥感影像融合的研究还不多,文献[9]提出了 DCT 压缩域的多聚焦图像融合,但是没有讨论遥感影像融合;文献[10]提出了采用 DCT 的融合算法,但这种方法存在如何确定 DCT 低频系数的问题;文献[11]提出了一种基于 IHS 变换与 DCT 的遥感影像融合算法,然而该文方法出现了明显的块效应。

### 2 基于 DCT 域的遥感图像融合算法

本文通过实验来确定低频区域。对  $256 \times 256$  的全色图像和多光谱图像的强度分量做整体 DCT 后进行融合,低频部分分别是如下的三种区域:

- 1) 左上角方形域;
- 2) 左上角 1/4 圆形域;
- 3) 左上角三角域  $n = 1, 2, \dots, 128$ 。

这样得到了  $128 \times 3$  幅融合图像,这里分别对这些图像进行了综合评价,并将评价结果绘制成曲线,如图 1 所示,由于篇幅有限,本文只提供 R 通道的评价曲线。

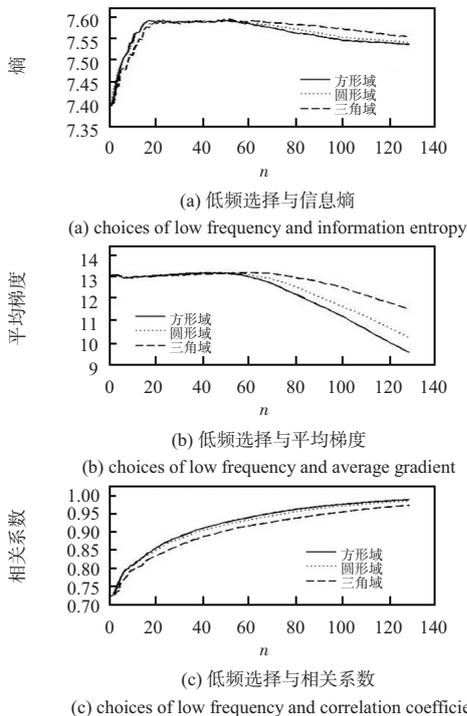


图 1 融合图像性能评价与低频关系图

Fig 1 Relationship diagram of evaluation of fusion image character and low frequency

由图 1 所示,用圆形域作为低频的评价函数曲线介于用方形域和三角域作低频的曲线之间,这本身就是一种折中方法。这里可以看到熵、平均梯度的曲线都是先在一段

区间保持不变,而当临界点  $n$  值超过某个值后两条曲线都急速下降,而相关系数的曲线是单调递增的。得到理想融合图像的关键在于找到 R, G, B 3 个通道的熵与平均梯度曲线下降的临界点  $n$  值。由实验数据可知方形域的临界  $n$  值是 43, 圆形域的临界  $n$  值在 52, 三角域的临界  $n$  值为 62。各临界点的融合图像的客观评价函数如表 1 所示。

表 1 临界点时的图像融合性能评价

Tab 1 Characteristics evaluation of image fusion at breakthrough point

低频域	波段	信息熵	平均梯度	相关系数
多光谱	R	7.520 1	6.650 0	-
	G	7.508 7	6.466 6	-
	B	7.521 9	6.599 1	-
全色		7.407 5	13.155	-
方形域 ( $n = 43$ )	R	7.587 6	13.206	0.915 00
	G	7.569 6	13.181	0.911 51
	B	7.539 1	13.244	0.914 64
圆形域 ( $n = 52$ )	R	7.592 5	13.220	0.923 18
	G	7.570 0	13.192	0.920 05
	B	7.536 4	13.241	0.922 78
三角域 ( $n = 62$ )	R	7.590 0	13.220	0.919 07
	G	7.570 0	13.199	0.915 73
	B	7.535 3	13.258	0.918 62

可以看到三种低频选择方法临界点的融合图像的熵值都大于原始的多光谱图像和全色图像。其中,圆形域临界点的融合图像具有较高的相关系数和平均梯度,可以认为是最佳融合图像。本文后续又对多组图像进行了实验,发现基于圆形域做低频的融合,临界点  $n$  值在原始尺寸的  $1/5 \sim 1/4$  之间,以此为半径的左上角 1/4 圆形域为低频区域最佳选择区域。因此,当图像分块大小为  $8 \times 8$  时,最佳低频选择区域对应最左上角的 3 个点。

结合前面的分析,本文提出一种 DCT 域的基于 GIHS 变换的遥感图像融合方法,该方法的具体的步骤如下:

1) 将光谱图像 MS 与全色图像 Pan 进行分块 DCT,分块大小为  $8 \times 8$ , 则

$$Pan(u, v) = DCT(Pan)$$

2) 利用原多光谱图像的 R, G, B 波段的 DCT 系数按公式(2)获得原多光谱图像的强度分量的 DCT 系数

$$I_0(u, v) = DCT(MS)$$

3) 在每个  $8 \times 8$  分块中,融合图像选取多光谱强度的最左上角的 3 个系数做为低频,其他部分选择全色图像作为高频,即

$$I_{new}(u, v) = \begin{cases} I_0(u, v) & \mu^2 + v^2 \leq 1 \\ Pan(u, v) & \mu^2 + v^2 > 1 \end{cases} \quad (3)$$

4) 利用公式(2)获得各个波段的 DCT 系数。

5) 对得到的 DCT 系数进行反 DCT 得到融合图像。

3 实验与性能分析

为了验证本文提出的算法,选用了某地区的大小为  $256 \times 256$  的全色图像和大小为  $64 \times 64$  多光谱图像进行实验(图 2)。多光谱图像采用双线性插值重采样并且经过基于互信息的配准。实验将本文算法与文献[11]的原型算法,两种改进算法、传统 HIS 方法、GIHS 方法、Brovey 方法、PCA 方法、高通滤波方法、基于 NSCT 与 IHS 的融合算法进行了比较。在进行 NSCT 时分解层数为 4,高频部分每层方向分别为 2,4,8。考虑到现实中的应用,本文算法和文献[11]三种算法的分块大小采用  $8 \times 8$ 。

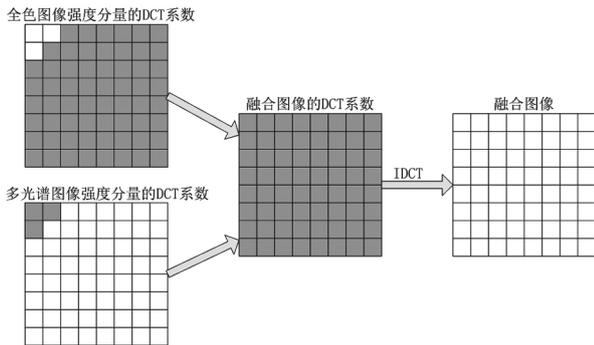


图 2 全色图像和多光谱图像融合过程

Fig 2 Process of multispectral and panchromatic image fusion

评价算法的有效性主要从融合图像本身信息量、分辨率、光谱信息三方面进行分析。

图 3 给出了配准后的多光谱图像和原全色图像和实验融合图像。表 2 给出了 DCT 域图像融合方法在采用平均梯度和与多光谱的相关系数评价后得到的结果。通过客观评价发现,本文算法的熵与平均梯度都仅次于文献[11]的原型算法,但是文献[11]算法融合图像有明显的块效应,这在现实使用中是很难接受的,虽然改进算法 1 和改进

表 2 DCT 域的图像融合方法的性能评价

Tab 2 Characteristics evaluation of image fusion method in DCT domain

算法	波段	信息熵	平均梯度	相关系数
文献[11]	R	7.5825	13.896	0.87132
原型算法	G	7.5634	13.898	0.86637
融合图像	B	7.5476	13.965	0.87126
文献[11]	R	7.5444	13.343	0.82796
改进算法 1	G	7.5308	13.344	0.82015
融合图像	B	7.5349	13.424	0.82612
文献[11]	R	7.5457	13.378	0.82850
改进算法 2	G	7.5305	13.381	0.82075
融合图像	B	7.5448	13.510	0.82613
本文算法	R	7.5850	13.876	0.92048
融合图像	G	7.5633	13.851	0.91720
融合图像	B	7.5391	13.899	0.92024

算法 2 在一定程度上消除了块效应,但是各项评价函数值均不如本文算法,而且还要做直流分量的线性滤波,计算量高于本文算法。

表 3 的数据为采用常用融合算法得到的性能评价。综合表 2、表 3 的数据可以看出:本文算法的融合图像与原多光谱图像的相关系数比六种常用融合算法要高,说明了本文算法具有较好的光谱信息保持能力。本文算法得到的融合图像的平均梯度仅次于 NSCT 算法,但是 NSCT 算法在处理数据时需要较多的计算量,而且不能直接在压缩域处理数据。

表 3 常用图像融合算法的评价结果

Tab 3 Evaluation result of conventional image fusion algorithm

算法	波段	信息熵	平均梯度	先关系数
HIS 变换 融合图像	R	7.4570	14.867	0.66255
	G	7.3940	13.608	0.68705
	B	7.3461	11.283	0.79403
GIHS 变换 融合图像	R	7.1491	10.754	0.71952
	G	7.0831	10.661	0.70550
	B	7.1198	10.681	0.71584
PCA 变换 融合图像	R	7.1736	10.902	0.71653
	G	7.1060	10.686	0.70944
	B	7.1426	10.792	0.71433
高通滤波 融合图像	R	7.2973	8.6320	0.92211
	G	7.2650	8.5300	0.91939
	B	7.2330	8.5529	0.91755
Brovey 变换 融合图像	R	6.9588	10.113	0.65217
	G	6.8467	9.1832	0.68514
	B	6.7821	7.5817	0.79401
NSCT 融合图像	R	7.6192	14.435	0.90904
	G	7.5964	14.265	0.90689
	B	7.5434	14.687	0.90775

4 结论

本文在结合 GIHS 变换和 DCT,提出了一种遥感图像的融合算法。对于 JPEG 等压缩图像进行融合时,相比传统的遥感图像融合方法,本文的融合算法省去了反映色变换的过程,可以直接在 DCT 域进行融合,同时本文算法在不增加计算量的前提下解决了现有 DCT 域融合算法的块效应问题。相比传统的 IHS 算法,本文算法的融合图像与原多光谱图像的互信息增加了 28.7%,熵增加了 2.2%,平均梯度增加了 4.7%,相对于 NSCT 算法,在熵与平均梯度接近的前提下互信息提高了 1.2%,并且计算量远小于传统多尺度融合算法,适用于实时图像融合。

参考文献:

[1] Zhang Z H, Blum R S A Categorization of multiscale decomposition based image fusion schemes with a performance study for a digital camera application[C]// Proceedings of the IEEE, 1999: 1315 - 1326.

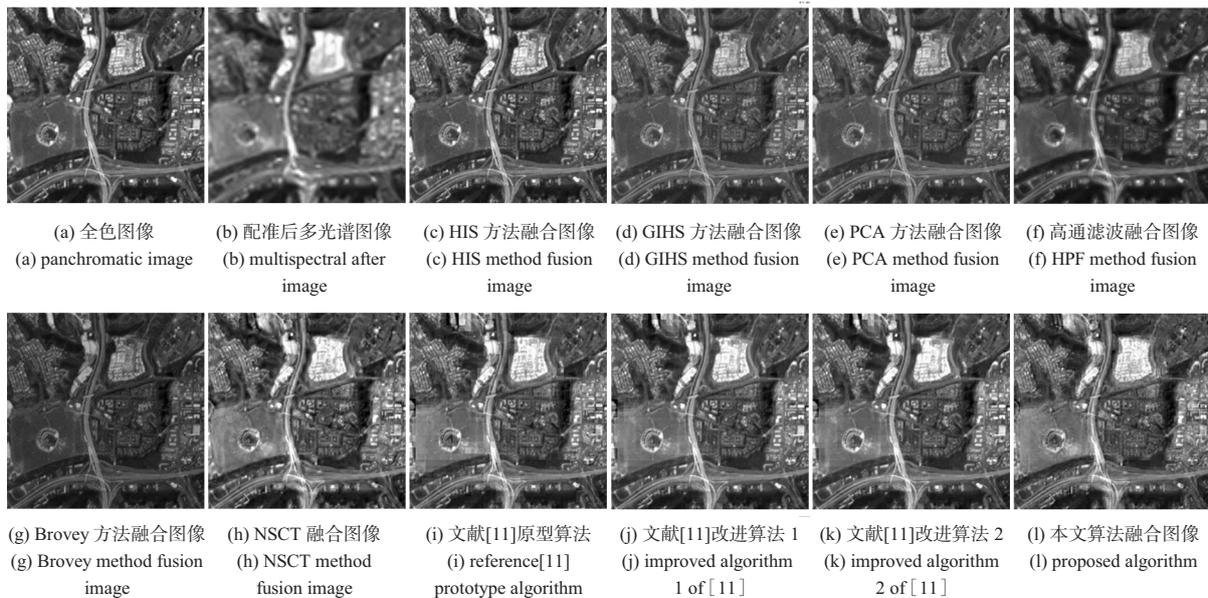


图 3 原图像和采用不同融合方法得到的融合图像

Fig 3 Original images and fusion images obtained by different fusion methods

[2] Tu T M ,Huang P S ,Hung C L et al. A fast intensity-hue-saturation fusion technique with spectral adjustment for IKONOS imagery [J]. Geoscience and Remote Sensing Letters ,IEEE ,2004 , 1( 4) : 309 - 312.

[3] Tu T M ,Lee Y C ,Chang C P et al. Adjustable intensity-hue-saturation and Brovey transform fusion technique for IKONOS/QuickBird imagery [J]. Optical Engineering ,2005 ,44 ( 11) : 116201-1 - 116201-10.

[4] Gangkofner U G ,Pradhan P S ,Holcomb D W. Optimizing the high-pass filter addition technique for image fusion [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing ,2008 ,74 ( 9) : 1107 - 1118.

[5] Zhang Y ,Hong G. An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and QuickBird images [J]. Information Fusion 2005 6( 3) : 225 -

234.

[6] 张明源 ,王宏力 ,陈国栋. 基于小波分析的多源图像融合去云技术研究 [J]. 传感器与微系统 2007 26( 11) : 19 - 21.

[7] Tu T M ,Su S C ,Shyu H C et al. A new look at IHS-like image fusion methods [J]. Information Fusion 2001 2( 3) : 177 - 186.

[8] 何国栋 ,石建平 ,冯友宏. 一种新的红外与可见光图像融合算法 [J]. 传感器与微系统 2014 33( 4) : 139 - 142.

[9] 楚 恒 ,朱维乐. 基于 DCT 变换的图像融合方法研究 [J]. 光学精密工程 2006 ,14( 2) : 266.

[10] 贾 林 ,王国宇. 基于分块 DCT 的遥感图像融合方法 [J]. 微计算机信息 2005 21( 30) : 34 83 - 84.

[11] 楚 恒 ,王汝言 ,朱维乐. DCT 域遥感影像融合算法 [J]. 测绘学报 2008 37( 1) : 70 - 76.

作者简介:

曹 流 (1989 - ) 男 ,辽宁盘锦人 ,硕士研究生 ,主要从事图像融合方面的研究。

( 上接第 113 页)

[2] 李兵尚 ,吴 非 ,张 磊 ,等. 存储环境监测与数据记录系统设计 [J]. 测控技术与仪器仪表 ,2011 39( 1) : 76 - 78.

[3] 张韩飞 ,陈 明 ,池 涛 ,等. 多传感器信息融合在温室湿度检测中的应用 [J]. 传感器与微系统 2011 30( 6) : 129 - 134.

[4] 李 洋 ,黎晓林 ,吴 健 ,等. 基于数字电路的二阶调制微加速度计 [J]. 传感器与微系统 2015 34( 1) : 91 - 93.

[5] 蒋敦斌 ,李文英 ,刘元红. 闪存存储器 AT45D 系列芯片的应力 [J]. 天津师范大学学报: 自然科学版 ,2003 23( 3) : 61 -

65.

[6] Raghupathy A P ,Shen J. Thermal analysis of optoelectronic packages the Delphi-based compact thermal model and other modeling practices in the industry [C]// Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium 2010: 264 - 270.

作者简介:

段鹏程 (1991 - ) 男 ,山西晋城人 ,硕士研究生 ,主要研究方向为机载导弹测试。

( 上接第 123 页)

[8] 凌 聪 ,孙松庚. Logistic 映射扩频序列的相关分布 [J]. 电子学报 ,1999 27( 1) : 140 - 141.

[9] 雷利华 ,马冠一 ,蔡晓静 ,等. 基于 Chebyshev 映射的混沌序列研究 [J]. 计算机工程 2009 35( 24) : 4 - 6.

[10] 盛 堰 ,周 飞 ,李鉴鸿 ,等. 一种水下无线传感器网络数据的盲分离算法 [J]. 传感器与微系统 ,2013 32( 10) : 106 - 109.

作者简介:

耿云志 (1988 - ) 男 ,江苏靖江人 ,硕士研究生 ,研究方向为智能安全与芯片设计。