

θ 调制多光谱照相中可见光与红外图像融合的研究*

周巨伟 方志良 杨胜杰 杨 勇 母国光

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

摘 要 针对 θ 调制多光谱照相技术, 提出了一种基于小波变换的图像融合及假彩色化新方法, 其特点是使用改进的加权平均法融合可见光波段解码图像与红外图像的小波分解低频分量, 以局部能量差为测度标准融合高频分量, 将融合的图像在 RGB 空间合成假彩色图像. 理论分析和实验结果表明该方法具有良好的融合性能和假彩色效果.

关键词 θ 调制; 融合; 小波变换; 局部能量差; 假彩色

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A

0 引言

多光谱照相技术通常利用不同的传感器获得目标场景的多波段灰度图像, 然后将其融合成一幅假彩色图像. 将可见光图像与红外图像进行融合, 可以充分利用其不同波段的信息互补性. 可见光与红外图像的融合有多种方法, 比较典型的有调制法^[1,2]、金字塔方法^[3,4]、小波变换方法^[5~8]等. 调制法方法简单但往往效果不佳; 金字塔方法可突出图像的重要特征和细节信息, 不过数据量会变大; 小波变换的思想来自于金字塔算法, 由于小波分解具有非冗余性, 所以图像数据总量不会变大, 并且利用小波分解的方向性还有可能针对人眼对不同方向的高频分量具有不同分辨率这一视觉特性, 获得视觉效果更佳的融合图像.

文献[9,10]提出了一种基于多波段 θ 调制的新型多光谱照相技术, 利用多波段 θ 调制器和单个 CCD 探测器组成的多光谱照相系统代替传统的可

见光红、绿、蓝三波段三镜头多光谱相机, 通过数字解码的方法获得解码单波段图像. 本文针对 θ 调制可见光多波段解码图像与红外图像的融合问题, 提出了一种基于小波变换的图像融合及假彩色化新方法, 用改进的加权平均法来融合可见光与红外波段图像的小波分解低频和低频分量, 获得了很好的实验结果.

1 可见光与红外图像融合方法

1.1 小波变换作图像融合

Mallet 在 Burt 和 Anderson 的金字塔分解和重构算法的基础上, 提出了小波的快速 Mallet 算法^[5], 通过小波变换, 图像被分解为逼近图像和细节图像, 分别对应图像的低频分量和高频分量. 若分解级为 N , 则对应的 $3N+1$ 个频带, 包括 1 个低频带和 $3N$ 个高频带. 基于小波变换的融合方法如图 1(以 $N=2$ 为例). 图中 L 代表图像的低频分量(逼近图像), $H_1, V_1, T_1, H_2, V_2, T_2$ 分别为图像的水

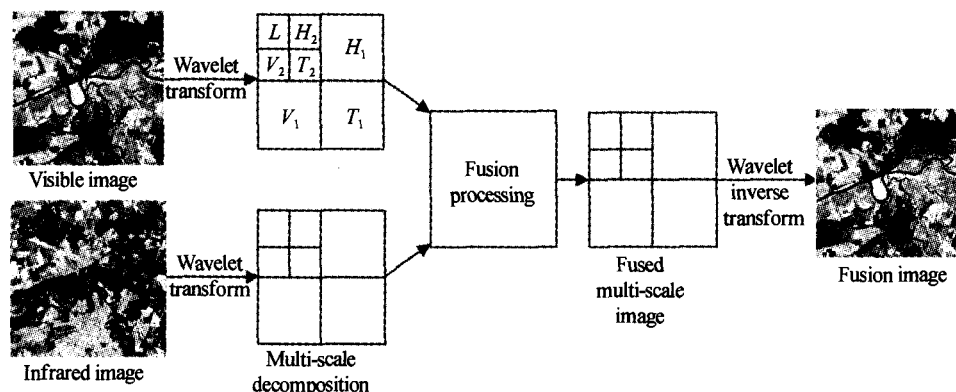


图 1 小波变换用于图像融合的图示
Fig. 1 Chart of image fusion using wavelet transform method

平、垂直和对角线方向高频分量(细节图像), 下标代表小波分解级. 基于小波变换的图像融合方法步骤为: 1) 将待融合图像进行小波分解; 2) 在不同的分解级上采用不同的融合算子进行融合, 得到融合图像

*国家自然科学基金项目“多波段、超光谱图像实时获取及融合研究”(编号 60278005)资助
Tel: 022-23500212 Email: zhnkujw@163.com
收稿日期: 2005-07-26

的小波塔式分解;3)小波逆变换重构图像。

小波变换将原始图像分解到一系列频率通道中,在不同频带内进行融合,既符合人眼视网膜图像在频率通道内处理的视觉特性,同时由于它提取了原始图像的低频和三个方向的高频信息,针对不同分量可以采取不同的融合算子进行有针对性的融合,因而可以取得更好的效果。在基于小波变换的图像融合方法中,不同分量的融合算子的选取对于融合结果至关重要。文献[11]对一些采用不同融合规则和融合算子的小波变换方法作了比较。本文提出一种新的融合规则,对于小波分解低频分量采用根据图像方差比选取系数的加权平均算子,对于高频分量采用以局部能量差为测度标准的融合算子。

1.2 小波分解不同分量融合算子的选取

对于像素级融合规则,由于图像的局部区域内各像素间往往存在相关性,单个像素并不能表征图像的区域特征,所以目前一般采用基于区域量测的融合算子。本文根据需要给出了一种新的融合规则和融合算子:

1)采用加权平均法融合低频分量,权重系数由红外图像与 θ 调制解码图像的方差比确定。

以TV表示可见光波段图像(即多波段 θ 调制编码的 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 三波段),IR表示红外图像, F_{low} 表示融合图像的低频分量,则有

$$F_{low} = \alpha \times TV_{low} + (1 - \alpha) \times IR_{low} \quad (1)$$

式中 α 为加权系数,基于参与融合图像的方差选取。分别以 V_{ar1}, V_{ar2} 表示TV及IR图像的方差,则有

$$\alpha = V_{ar1} / (V_{ar1} + V_{ar2}) \quad (2)$$

在不考虑噪声的情况下,图像的均值和方差能够体现其亮度和对比度信息。由于分解图像的低频分量主要体现亮度、对比度等信息,本文基于待融合图像的方差来选取加权系数,可以根据图像自身的统计学性质调整其在融合图像中的比重,因而可以达到更好的融合效果。

2)对于三个方向上的高频分量,采用基于局部区域特性选择及加权平均算法。选取局部能量差作为局部区域特性选择的测度标准。

首先按式(3)分别计算TV和IR高频分量图像的局部能量E

$$E(n, m) = \sum_{k=-N}^N \sum_{l=-M}^M w(k, l) \times I_H^2(n-k, m-l) \quad (3)$$

$w(k, l)$ 为加权系数,满足 $\sum_{k=-N}^N \sum_{l=-M}^M w(k, l) = 1$; I_H 表示TV或IR图像的高频分量。局部能量差可以表示为

$$\Delta E(n, m) = \frac{E_{IR}(n, m) - E_{TV}(n, m)}{|E_{IR}(n, m) - E_{TV}(n, m)|_{max}} \quad (4)$$

局部能量差体现了可见光与红外图像区域性质的差异。设阈值 $T(0 < T < 1)$,若 $|\Delta E(n, m)| \geq T$,说明两幅图像存在较大差异,选取局部能量大的图像的高频分量为融合图像的高频分量;如果 $|\Delta E(n, m)| < T$,说明两幅图像在该区域差异不大,存在较大的相似性,采用加权系数法构造融合图像的高频分量

$$F_H = w_{TV} \times TV_H + w_{IR} \times IR_H \quad (5)$$

式中 $w_{TV} + w_{IR} = 1$, w_{TV}, w_{IR} 的选取规则如下

1)当 $|\Delta E(n, m)| \geq T$ 时:

若 $E_{IR}(n, m) > E_{TV}(n, m)$, $w_{IR} = 1, w_{TV} = 0$; 若 $E_{IR}(n, m) \leq E_{TV}(n, m)$, $w_{IR} = 0, w_{TV} = 1$ 。

2)当 $|\Delta E(n, m)| < T$ 时:

若 $E_{IR}(n, m) > E_{TV}(n, m)$, $w_{IR} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{1 - |\Delta E(n, m)|}{1 - T} \right)$, $w_{TV} = 1 - w_{IR}$;

若 $E_{IR}(n, m) \leq E_{TV}(n, m)$, $w_{TV} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \left(\frac{1 - |\Delta E(n, m)|}{1 - T} \right)$, $w_{IR} = 1 - w_{TV}$ 。

依上述方法可分别得到 θ 调制三波段解码图像与红外波段的融合图像,每幅融合图像中都包含了该波段与红外波段信息。再把三幅融合图像送入RGB空间合成最终的假彩色图像。这样既利用了可见光与红外波段的信息互补性,同时通过假彩色技术将各波段信息融合到一幅彩色图像中,也利用了人眼对于彩色分辨能力远大于对灰度分辨能力的视觉特性,有利于观察者的判读,充分体现了多光谱照相的优点。

2 实验结果与讨论

为了说明融合方法的效果,选取某村庄的Landsat TM遥感图像中的R、G、B波段进行 θ 调制编码,并与近红外波段图像进行融合模拟实验。四幅图像已经经过严格配准,波段分别为660 nm、560 nm、485 nm和830 nm,图像大小为500×500。

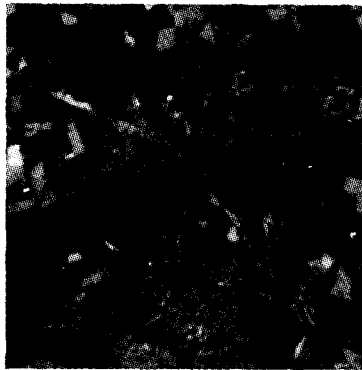
首先把R、G、B三波段分别作为多波段 θ 调制的 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 波段,对其进行 θ 调制获得可见光波段编码图像,见图2;其近红外波段图像见图3。对其进行数字滤波解码可得到三幅单波段解码灰度图像,见图4(a)、(b)、(c)。将三幅解码图像进行直方图增强和滤波处理后,分别与近红外波段图像基于前述方法融合得到三幅灰度融合图像。最后,将三幅灰度融合图像送入R、G、B通道合成假彩色图像。图5(a)、(b)、(c)分别为采用对比度调制法、对比度金字塔方法及本文提出方法获得的假彩色融合图像。



图 2 θ 调制编码图像
Fig. 2 θ modulated encoding image



图 3 近红外波段图像
Fig. 3 Image of near infrared waveband



(a) λ_1



(b) λ_2

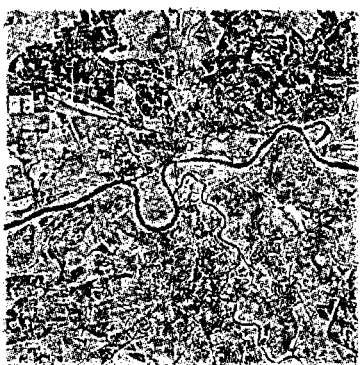


(c) λ_3

图 4 单波段 θ 调制解码图像
Fig. 4 θ modulated decoding image of $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ band



(a) Contrast modulation method



(b) Contrast pyramid method



(c) The method in this article

图 5 假彩色融合图像
Fig. 5 Pseudo-color fusion image

从两个方面来衡量各方法的融合性能。首先通过信息熵、交叉熵、互信息量^[12]等统计学参数来衡量单波段解码图像与红外图像的融合效果。考虑到 R、G、B 与 NIR 波段的融合采用相同方法,表 1 以 B 波段和 NIR 波段的融合图像为例给出了各种方法的融合性能。

表 1 各种方法的融合性能比较

	Entropy	Cross Entropy	Mutual Information
Contrast modulation	7.205	4.887	2.580
Contrast pyramid	4.246	4.810	0.720
Our method	7.346	4.274	2.130

从表 1 可以看出,同其它两种方法相比,本文提出的方法有最大的信息熵和最小的交叉熵,互信息量要略小于对比度调制法。熵体现了一幅图像携带的信息量,信息熵大说明融合图像包含了更丰富的信息;交叉熵反映两幅图像对应像素的差异,交叉熵小说明融合图像与原始图像差异较小。互信息量体现了融合图像从原始图像中提取信息的多少,互信息量愈大,则提取的信息越多。显然,本文方法要略差于对比度调制法。

其次通过目测法来观察不同方法图像融合和假彩色合成效果。图 5(a) 中场景边缘、轮廓不明显,

对于高频信息表现不好;图 5(b)虽然体现了高频信息,可是在图像平坦区域也混杂了过多的高频噪声,融合效果不佳;图 5(c)中场景有清晰的边缘及轮廓,同时对于平坦区域的低频信息表现也比较好.图 5(a)和图 5(b)的假彩色效果都不够明显,没有达到便于观察的目的,而图 5(c)假彩色效果明显,便于对场景中的目标进行识别.

3 结论

利用 θ 调制多波段相机和红外相机组成多光谱照相系统,同时获取可见光波段信息和红外波段信息,可以充分利用红外波段和可见光波段的信息互补性.对于 θ 调制解码图像与红外波段图像的融合,本文基于小波变换算法,提出了一种新的融合规则,对于低频分量采用加权平均算子,加权系数由图像的方差比决定;对于高频分量采用局部能量差作为测度的融合算子,获得了较好的融合效果.最后将 θ 调制解码三波段图像与红外图像的融合图像合成一幅假彩色图像进行观察.与对比度调制法、金字塔方法作了比较,本文方法得到的融合图像也获得了更好的假彩色效果.文中提到的方法也可以广泛应用于其它图像融合的场所.

参考文献

- Toet A, Walravan J. New false color mapping for image fusion. *Optical Engineering*, 1996, **35**: 650~658
- 倪国强. 多波段图像融合算法研究及其新发展(I). 光电子技术与信息, 2001, **14**(5): 11~17
Ni G Q. *Optoelectronic Technology & Information*, 2001, **14**(5): 11~17
- Burt P J, Adelson E H. The laplacian pyramid as a compact image code. *IEEE Transactions on Communications*, 1983, **31**(4): 532~540
- 刘贵喜, 赵曙光, 陈文锦. 红外与可见光图像融合的多分辨率方法. 光电子·激光, 2004, **15**(8): 980~984
Liu G X, Zhao S G, Chen W J. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2004, **15**(8): 980~984
- Mallet S G. A theory for multiresolution signal decomposition; the wavelet representation. *IEEE Trans On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1989, **11**(7): 674~693
- 吴艳, 杨万海, 李明. 多光谱与高分辨率图像融合算法研究. 光子学报, 2003, **32**(2): 174~178
Wu Y, Yang W H, Li M. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(2): 174~178
- 刘贵喜, 杨万锦. 一种像素级多算子红外与可见光图像融合方法. 红外与毫米波学报, 2001, **20**(3): 207~210
Liu G X, Yang W J. *J Infrared Millim Waves*, 2001, **20**(3): 207~210
- Wu Y, Li M, Yang W H. A new algorithm for the fusion of multi-spectral and high-resolution panchromatic images. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(11): 1399~1404
- 母国光. 白光光学信息处理及其彩色摄影术. 光电子·激光, 2001, **12**(3): 285~292
Mu G G. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2001, **12**(3): 285~292
- 王乐, 方志良, 冯德魁. 采用多波段 θ 调制器作多光谱照相技术的研究. 光学学报, 2005, **25**(7): 897~901
Wang L, Fang Z L, Feng D K, et al. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(7): 897~901
- Tao G Q, Li D P, Lu G H. On image fusion based on different fusion rules of wavelet transform. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(2): 221~224
- 阳方林, 郭红阳, 杨风暴. 像素级图像融合效果的评价方法研究. 测试技术学报, 2002, **16**(4): 276~279
Yang F L, Guo H Y, Yang F B. *Journal of Test and Measurement Technology*, 2002, **16**(4): 276~279

Study on Image Fusion between Visible Images and Infrared Image in θ -modulated Multi-spectral Photography

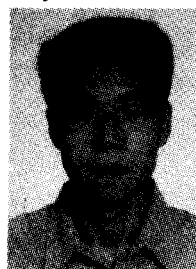
Zhou Juwei, Fang Zhiliang, Yang Shengjie, Yang Yong, Mu Guoguang

Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071

Received date: 2005-07-26

Abstract A new method is represented based on wavelet transform for image fusion and pseudo-coloring in multi-spectral photography with θ -modulation. Its features are as follows: The decoded image in visible band and infrared image's low frequency components are fused with improved Weighted Average Method, and the fusion image's high frequency components are obtained using local energy difference of two images as the fusion criterion. The fused images are synthesized into a pseudo-color in RGB color space. The theoretical analysis and experiment results show that with this method, good fusion performance and pseudo-color result can be achieved.

Keywords θ -modulation; Fusion; Wavelet transform; Local energy difference; Pseudo-color



Zhou Juwei was born in Hebei Province in March of 1982. He received the BS degree in 2003 from Nankai University. Now he studies for his MS degree in the Institute of Modern Optics of Nankai University. His main research interests include optical information processing and digital image processing.