

# 基于拉普拉斯金字塔变换的图像融合算法研究

陈浩<sup>1,2</sup>, 王延杰<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. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 阐述了基于拉普拉斯金字塔变换的图像融合原理和方法: 首先对源图像分别进行拉普拉斯金字塔分解, 然后对分解后的各层图像采用不同的融合准则进行融合, 最后, 对融合金字塔做拉普拉斯金字塔反变换得到最终的融合图像。通过对可见光与红外图像的融合结果分析, 实验结果表明, 该算法能得到具有更多有用信息的高对比度的融合图像。融合效果良好。

**关键词:** 图像融合; 拉普拉斯金字塔; 融合准则; 红外图像

**中图分类号:** TP391.4      **文献标识码:** A

## Research on Image Fusion Algorithm Based on Laplacian Pyramid Transform

CHEN Hao<sup>1,2</sup>, WANG Yan-jie<sup>1</sup>

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;  
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** This paper explains the theory and method of image fusion based on Laplacian pyramid. The Laplacian image fusion scheme begins by constructing Laplacian pyramids for each source image, and then each level of Laplacian pyramids is fused with different fusion rule. Finally, the end fused image is obtained by inverse Laplacian pyramid transform. By analyzing the fusion image with visible and infrared image, the experimental results show that this algorithm can produce high-contrast fusion image that are clearly more appealing and have greater useful information content. It proves that the algorithm can get a good fusion result.

**Key words:** image fusion; Laplacian pyramid; fusion rule; infrared image

### 1 引言

图像处理中的金字塔算法最早是由 Burt 和 Adelson 提出的, 是一种多尺度、多分辨率的方法。基于金字塔分解的图像融合算法的融合过程是在不同尺度、不同空间分辨率和不同分解层上分别进行的, 与简单图像融合算法相比能够获得更好的融合效果, 同时能够在更广泛的场合使用。

### 2 图像拉普拉斯金字塔分解的基本原理

由于图像的拉普拉斯金字塔的构成是在高斯金字塔的基础上演变而来的, 因此首先得对图像进行

高斯金字塔分解。

#### 2.1 图像的高斯金字塔分解

设原图像为  $G_0$ , 以  $G_0$  作为高斯金字塔的第 0 层(底层), 对原始输入图像进行高斯低通滤波和隔行隔列的下采样, 得到高斯金字塔的第一层; 再对第一层图像低通滤波和下采样, 得到高斯金字塔的第二层; 重复以上过程, 构成高斯金字塔。高

作者简介: 陈浩(1982-), 男, 博士研究生, 主要研究邻域为数字图像处理。E-mail: ciompchen@163.com

收稿日期: 2008-09-25

斯金字塔的构建过程为:假设高斯金字塔的第1层图像为  $G_1$ :

$$G_l(i, j) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \varpi(m, n) G_{l-1}(2i+m, 2j+n) \quad (1)$$

$(1 \leq l \leq N, 0 \leq i < R_l, 0 \leq j < C_l)$

式中,  $N$  为高斯金字塔顶层的层号;  $R_l$  和  $C_l$  分别为高斯金字塔第  $l$  层的行数和列数;  $\varpi(m, n)$  是一个二维可分离的  $5 \times 5$  窗口函数, 表达式为:

$$\varpi = \frac{1}{256} \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 36 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

至此, 由  $G_0, G_1, \dots, G_N$  就构成了高斯金字塔, 其中  $G_0$  为金字塔的底层(与原图像相同),  $G_N$  为金字塔的顶层。可见高斯金字塔的当前层图像是对其前一层图像先进行高斯低通滤波, 然后作隔行和隔列的降2采样而生成的。当前层图像的大小依次为前一层图像大小的  $1/4$ 。

## 2.2 图像的拉普拉斯金字塔分解

将  $G_l$  内插方法, 得到放大图像  $G_l^*$ , 使  $G_l^*$  的尺寸与  $G_{l-1}$  的尺寸相同, 表示为:

$$G_l^*(i, j) = 4 \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \varpi(m, n) G_l\left(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2}\right) \quad (3)$$

$(0 < l \leq N, 0 \leq i < R_l, 0 \leq j < C_l)$

式中,

$$G_l^*\left(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2}\right) = \begin{cases} G_l\left(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2}\right), & \text{当 } \frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2} \text{ 为整数时} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

令

$$\begin{cases} LP_l = G_l - G_{l+1}^*, & \text{当 } 0 \leq l < N \text{ 时} \\ LP_N = G_N, & \text{当 } l = N \text{ 时} \end{cases} \quad (5)$$

式中,  $N$  为拉普拉斯金字塔顶层的层号;  $LP_l$  是拉普拉斯金字塔分解的第  $l$  层图像。

由  $LP_0, LP_1, \dots, LP_l, \dots, LP_N$  构成的金字塔即为拉普拉斯金字塔。它的每一层图像是高斯金字塔本层图像与其高一图像经内插放大后图像的差, 此过程相当于带通滤波, 因此拉普拉斯金字塔又称为带通金字塔分解。

## 2.3 由拉普拉斯金字塔重建原图像

由式(5)可得:

$$\begin{cases} G_N = LP_N, & \text{当 } l = N \text{ 时} \\ G_l = LP_l + G_{l+1}^*, & \text{当 } 0 \leq l < N \text{ 时} \end{cases} \quad (6)$$

式(6)说明, 从拉普拉斯金字塔的顶层开始逐层由上至下按式(6)进行递推, 可以恢复其对应的高斯金字塔, 并最终可得到原图像  $G_0$ 。

## 3 基于拉普拉斯金字塔分解的图像融合

图像拉普拉斯金字塔分解的目的是将源图像分别分解到不同的空间频带上, 融合过程是在各空间频率层上分别进行的, 这样就可以针对不同分解层的不同频带上的特征与细节, 采用不同的融合算子以达到突出特定频带上特征与细节的目的。即有可能将来自不同图像的特征与细节融合在一起。

设  $LA_l$  和  $LB_l$  分别为源图像  $A, B$  经过拉普拉斯金字塔分解后得到的第  $l$  层图像, 融合后的结果为  $LF_l (0 \leq l \leq N)$ 。当  $l = N$  时,  $LA_N$  和  $LB_N$  分别为源图像  $A, B$  经过拉普拉斯金字塔分解后得到的顶层图像。对于顶层图像的融合, 首先计算以其各个像素为中心的区域大小为  $M \times N (M, N$  取奇数且  $M \geq 3, N \geq 3)$  的区域平均梯度:

$$G = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} \sqrt{(\Delta I_x^2 + \Delta I_y^2)/2} \quad (7)$$

其中,  $\Delta I_x$  与  $\Delta I_y$  分别为像素  $f(x, y)$  在  $x$  与  $y$  方向上的一阶差分, 定义如下:

$$\Delta I_x = f(x, y) - f(x-1, y) \quad (8)$$

$$\Delta I_y = f(x, y) - f(x, y-1) \quad (9)$$

因此对于顶层图像中的每一个像素  $LA_N(i, j)$  和  $LB_N(i, j)$  都可以得到与之相对应的区域平均梯度  $GA(i, j)$  和  $GB(i, j)$ 。

由于平均梯度反映了图像中的微小细节反差和纹理变化特征, 同时也反映出图像的清晰度。一般来说平均梯度越大, 图像层次也丰富, 则图像越清晰。因此顶层图像的融合结果为:

$$LF_N(i, j) = \begin{cases} LA_N(i, j) & GA(i, j) \geq GB(i, j) \\ LB_N(i, j) & GA(i, j) < GB(i, j) \end{cases} \quad (10)$$

当  $0 \leq l < N$  时, 则对于经过拉普拉斯金字塔分解的第  $l$  层图像, 首先计算其区域能量:

$$ARE(i, j) = \sum_{-p}^p \sum_{-q}^q \varpi(p, q) |LA_N(i+p, j+q)| \quad (11)$$

$$BRE(i, j) = \sum_{-p}^p \sum_{-q}^q \omega(p, q) |LB_N(i+p, j+q)| \quad (12)$$

这里  $p=1, q=1, \omega = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ , 则其他层次

图像的融合结果为:

$$LF_l(i, j) = \begin{cases} LA_l(i, j) & ARE(i, j) \geq BRE(i, j) \\ LB_l(i, j) & ARE(i, j) < BRE(i, j) \end{cases} \quad 0 \leq l < N \quad (13)$$

在得到金字塔各个层次的融合图像  $LF_1, LF_2, \dots, LF_N$  后, 通过式(6)重构, 便可得到最终的融合图像。

#### 4 图像融合效果的客观评价

由于人对融合图像质量进行主观评价时, 评价尺度很难掌握, 采用客观评价标准就能克服人的视觉特性、心理状态等因素的影响。本文中主要采用以下几个指标来衡量融合图像的效果:

##### (1) 熵

图像的熵是包含平均信息量多少的度量, 其定义为:

$$H = - \sum_{i=0}^{L-1} p(i) \log_2 p(i) \quad (14)$$

式中,  $p(i)$  为灰度  $i$  的分布概率, 其范围是  $[0, 1, \dots, L-1]$ 。融合后图像的熵值大小反映了图像包含信息量的多少, 熵值越大说明融合的效果相对越好。

##### (2) 空间频率

已知融合图像  $F$  大小为  $M \times N, M$  为图像行数,  $N$  为图像列数。行频率为:

$$RF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [F(i, j) - F(i, j-1)]^2} \quad (15)$$

列频率为:

$$CF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [F(i, j) - F(i-1, j)]^2} \quad (16)$$

则空间频率为:

$$SF = \sqrt{RF^2 + CF^2} \quad (17)$$

空间频率反映图像的全面活跃水平, 其值越大, 图像越清晰。

##### (3) 平均梯度

已知融合图像  $F$  大小为  $M \times N$ , 则由式(7)~式(9)可计算出图像的平均梯度。平均梯度越大, 图像越清晰。

#### 5 实验结果及分析

本文的所有算法都是运用 Matlab7.0 实现的。图1、图3和图2、图4是两组已配准好且像素位宽一致的待融合源图像, 图1、图2为可见光图像, 图3、图4为红外图像。图5是图1和图3采用本文算法融合后得到的图像, 图6是图2和图4采用本文算法融合后得到的图像。在融合过程中, 金字塔的分解为4层, 其中在对顶层图像融合时, 计算区域平均梯度大小的区域为  $5 \times 5$ 。两组图像分别是夜晚和白天的景象, 融合后都能比较全面地反映场景。这表明了本文算法在红外图像与可见光图像融合方面应用的广泛性。



图1 可见光图像1



图2 可见光图像2



图3 红外图像1



图 4 红外图像 2



图 5 融合图像 1



图 6 融合图像 2

表 1 是对上述图像的客观数据统计,采用本文算法进行融合的图像,其熵、空间频率、平均梯度相对源图像都有提高,这表明采用本文算法能较好地综合源图像信息。但是,该算法也有不足之处,通过对融合图像的观察,尤其是对融合图像 2 的观察,虽然隐藏在烟雾后面的人和发光物体能很好地表现出来,但天空中的云的表现显然有问题。这说明各层拉普拉斯金字塔的融合准则仍有改进的余地。

表 1 客观数据统计

图像	熵	空间频率	平均梯度
可见光图像 1	5.0785	10.5102	3.4509
红外图像 1	6.7291	8.5163	4.7978
融合图像 1	6.8656	12.8368	6.5063
可见光图像 2	7.1831	10.5319	5.4611
红外图像 2	6.3753	2.6543	1.9724
融合图像 2	7.2054	10.9678	6.3186

## 6 结 论

针对红外和可见光图像的特点,本文提出了一种改进的基于拉普拉斯金字塔的图像融合算法,该算法充分利用了可见光图像较高的空间分辨率和红外图像对热目标敏感的特点。实验数据和视觉效果表明,该融合算法有效地保留了图像信息。对于算法的不足之处,还需要针对源图像的特点,对融合算子进行研究,以获取完美的融合图像。

## 参考文献:

- [1] 朱瑞辉,万敏,范国滨. 基于金字塔变换的图像融合方法[J]. 计算机仿真, 2007, 24(12): 178 - 180.
- [2] Moira I Smith, Jamie P Heather. Review of image fusion technology in 2005[J]. Proc. SPIE, 2005, 5782: 29 - 45.
- [3] 玉振明,高飞. 基于金字塔方法的图像融合原理及性能评价[J]. 计算机应用研究, 2004, 21(10): 128 - 130.
- [4] 韩崇昭,朱红艳,段战胜. 多源信息融合[M]. 北京:清华大学出版社, 2006.
- [5] Yajun Song, Kun Gao, Guoqiang Ni, et al. Implementation of real-time Laplacian pyramid image fusion processing based on FPGA[J]. Proc. SPIE, 2007, 6833, 683316 - 1 - 683316 - 8.
- [6] 柴奇,杨伟,管怡,等. 一种改进的可见光与红外图像融合算法[J]. 红外技术, 2008, 30(2): 87 - 90.
- [7] 李建林,俞建成,孙胜利. 像素级的图像融合方法[J]. 红外, 2007, 28(11): 9 - 13.
- [8] 李印清,李玲玲,李保. 图像融合质量定量评价方法[J]. 中国惯性技术学报, 2007, 15(6): 702 - 706.