

# 空间频率图像的智能融合

舒 坚<sup>1</sup>, 胡茂林<sup>2</sup>

(1. 安徽大学 计算机教学部, 安徽 合肥 230039;

2. 安徽大学 智能计算与信息处理实验室, 安徽 合肥 230039)

**摘要:**提出了一种智能地融合同一场景的多幅图像为一幅图像的方法,与原图像相比,产生的图像包含较少的噪声和更多的信息。首先对原始图像除去斑点噪声;然后,运用直方图均衡化表示图像的细节和最大化图像信息内容;第三步,运用金字塔将图像分解为子图像,利用图像的密度、空间频率等特征,寻找需要融合的图像的部分;第四步,对这些子图像进行配准,为融合做准备;第五步,对需要融合的子图像,计算每一幅的空间频率,对空间频率不同的配准子图像,将结合它们周围子图像的空间频率信息,给出这个子图像的频率(一般情况下,频率值选择一个具有最高值的像素);第六步,为了得到更多细节,用模糊插值方法扩大这幅子图像。

**关键词:**空间频率;图像融合;金字塔分解

中图分类号: TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1005-3751(2006)03-0037-03

## Intelligent Fusion of Image in Spatial Frequency

SHU Jian<sup>1</sup>, HU Mao-lin<sup>2</sup>

(1. Center of Computation, Anhui University, Hefei 230039, China;

2. Lab. of Intelligent Computing and Signal Processing, Anhui University, Hefei 230039, China)

**Abstract:** A process is designed to fuse multiple images in the same scene, and to produce an image that contains less noise and more information. First, the speckle noise is removed. Second, histogram equalization is applied to expose details and maximize the information content of the image. Third, using pyramid representation to express the image, find the differences of the subimages by intensity and spatial frequency. Fourth, images are registered to prepare for fusion. In the fifth step, apply new pointwise spatial frequency methodology by computing it at each pixel in each image. The images are then fused at each output pixel location by comparing the pointwise spatial frequency values at that location in all images and selecting the pixel with the highest such value. The sixth step enlarges this image with fuzzy interpolation for more detail.

**Key words:** spatial frequency; image fusion; pyramid decomposition

### 0 引言

短波雷达、红外线和光学感应器的出现推动了图像融合的发展,这些新的感应器不是依赖于返回雷达信号的调制和其它特征,而是从合成孔径雷达、高分辨(HRR)雷达、红外感应器、光学超谱感应器直接获得较高分辨率的图像<sup>[1]</sup>。例如,机载可见/红外成像谱仪(AVIRIS)可以捕获超出200条带的像素值<sup>[2]</sup>。

给定一组从空中拍摄同一个地方场景的图像,最重要的问题就是:如何在有杂乱回波、干扰、伪装、恶劣天气和部分阻挡的情况下,从物体和方位的多角度来探测和识别物体,应用多幅图像可以为使用者提供更多的信息。这就是图像融合问题。多源图像融合技术研究的是如何综合利用不同类型传感器所获得的图像,通过一定的算法得到

一幅信息更加准确、丰富的新图像,从而产生比单一传感器更精确、更完整、更可靠的描述和判断,它在军事、民用等方面有着极为广泛的应用背景,是目前科技界的一个热门研究领域。这里设计了一个六步的计算方法(见图1),通过此方法一幅图像的局部模糊能很快地被检测和出处理,从而为后期信息的大量应用提供一个更清晰更大的图像。六步中的每一步都为目标的取得做出了相应的贡献。下文将详细介绍这些步骤,文献[3]中给出了一个不同的融合方法。

文中的主要特点是:

(1)利用金字塔分解图像,比较相应的空间频率的差异来搜寻需要融合的图像部分,而不是对整个的图像进行融合;

(2)利用图像的空间频率融合时,结合了周围子图像的空间频率的特征。同传统的图像融合相比,这种算法极大地减少了计算量,且能自动地寻找融合的部分,具有一定的智能。

收稿日期: 2005-06-29

作者简介:舒 坚(1965—),男,安徽合肥人,工程师,主要从事计算机基础实验教学的管理和技术工作。

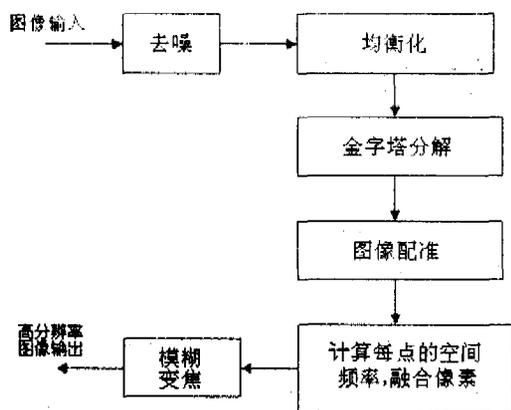


图 1 图像融合的计算过程

## 1 方法

图像融合的方法包括以下 6 种: 噪声消除、直方图均衡化、金字塔型、两个子图像的配准、点点空间频率相融合和分辨率的增加。

### 1.1 噪声消除

为了消除斑点噪声, 这里使用了一个像素的  $3 \times 3$  邻域, 运用了改进型  $\alpha$ -均衡均值方法<sup>[4]</sup>。这里  $\alpha = 3$ , 在这个区域里取了 9 个像素值, 再结合中心像素值, 因此就有 10 个像素值, 去掉 3 个像素值最高的和 3 个像素值最低的像素, 然后对剩下的 4 个灰度值进行平均, 这个均值作为新的中心的值被显示在输出图像上。用这种方法, 中心像素值被计算两次, 但是如果这个中心像素是野值时, 它将不会出现在新输出的像素平均值内。

### 1.2 直方图均衡化

这里使用的是普通直方图均衡化, 但也可以使用多层次直方图均衡化来最大化图像的信息内容, 显示更多细节<sup>[5,6]</sup>。

### 1.3 金字塔型

$n \times n$  阵列图像的金字塔型 (pyramid) 表示包含了原图像和原图像的  $K$  个递减图像, 其中  $n$  是 2 的指数幂, 其它图像分别是  $n/2 \times n/2, n/4 \times n/4, \dots, 1 \times 1$  阵列。在图像的金字塔型表示中,  $L$  层的像素是通过将  $L+1$  层的若干像素组合得到的。在顶层或 0 层, 图像表示为单一像素; 而底层则是原始图像或未被递减的图像。某一层的一个像素表示下一层的几个像素的合成信息。其中金字塔型图像是通过求简单的  $2 \times 2$  邻域的均值得到。当然, 构想其它策略来获取递减分辨率图像是完全可能的。同样, 以非线性的方法来构造金字塔型表示方法也是可能的。需要补充说明的是: 整个金字塔型图像满足维数为 2 的线性阵列 ( $2^{2 \times s}$ ), 其中  $g$  是级数。这里将通过对比相应的子图像的特征 (比如均值、空间的频率) 来找到需要融合的图像的部分, 如果在高程, 图像的特征有差异, 则对下一层比较相应的特征, 如果在下一层中 4 个子图像的特征的差别都比较大, 则对这一层进行融合, 否则进行下去。这个算法克服了传统的对整个图像进行配准, 极大地减少了计算量, 另

外还通过利用周围的空间频率来确定融合的频率, 而不仅仅是取空间频率最大的值。

### 1.4 两个子图像的配准

在不同图像的像素融合之前, 需要相互间配准, 很多不同方法都可以用来配准图像像素<sup>[7]</sup>, 也可以使用 Matlab 图像处理工具箱, 用下面的步骤输入图像可以从一个单一的图像用模糊其它部分得到, 因此就不需要图像过程。

### 1.5 点点空间频率相融合

尽管在文献[8]中运用了在一个块的水平垂直方向计算相邻像素灰度值差定义空间频率, 将不同部位的图像的散焦结合起来以获得一个清晰的聚焦图像的结果是很好的。对更细微的颗粒, 通过把中央像素和其它在一个  $3 \times 3$  区域内的像素差相加的方法, 在一个像素上定义点点空间频率 (psf):

$$\text{psf}(p_s) = \sum_{k \geq 5} |p_k - p_s| \quad (1)$$

因此, 这个 psf 包含了所有方向, 且是对每个像素定义的, 而不是对整个局部定义的。在这个局部中, 每个像素被同等处理。

在每个像素位置, 比较像素的 psf 值, 把  $R$  个图像融合, 对于处在同一位置的所有  $R$  个像素的  $p_r$ , 令  $p_{out} = p_{r^*}$ , 其中,  $r^*$  由式(2)定义:

$$\text{prf}(p_{r^*} = \max_r \{ \text{psf}(p_r) : r = 1, \dots, R \} \quad (2)$$

### 1.6 分辨率的增加

在每一点上, 被融合的输出图像的分辨率和初始的图像一样, 要使  $M \times N$  像点  $\{p_F(i, j)\}$  扩大为  $(2M) \times (2N)$  像点  $\{p(i, j)\}$ , 需利用经典的向后扩张方法 (参见文献[9])。为了扩展图像, 设计了一个矩阵  $\{p_X(i, j)\}$ , 但像点的灰度是空白的。像素分别向前和向后的映射是:

$$T(i, j) = (2i, 2j), T^{-1}(m, n) = (m/2, n/2) \quad (3)$$

这里的任务是: 通过常用后向的映射方法, 在放大的图像里找到每个  $(2M) \times (2N)$  像素位置的灰度值。对放大的图像的每个像素位置, 用上面定义过的函数  $T^{-1}(m, n)$  功能将它映射回该点  $(m/2, n/2)$ , 此灰度值从原图像点的 4 个灰度值中由下面插值得到:

$$a = p(\lceil m/2 \rceil, \lceil n/2 \rceil), \quad (4)$$

$$b = p(\lceil m/2 \rceil, \lceil n/2 + 1 \rceil)$$

$$c = p(\lceil m/2 + 1 \rceil, \lceil n/2 \rceil), \quad (5)$$

$$d = p(\lceil m/2 + 1 \rceil, \lceil n/2 + 1 \rceil)$$

其中  $\lceil x \rceil$  为小于或等于  $x$  的最大整数。将  $(m, n)$  后向映射到  $(m/2, n/2)$  位置, 这个位置不是一个像素的位置, 因此它从 4 个最靠近有效的像素位置灰度中插值。

插值是这 4 个灰度值的一个加权, 其中权数由从实际后向映射的位置到四点角的位置的距离来决定, 四角位置就是初始像点中的实际像素位置, 因此

$$P(m/2, n/2) = w_1 a + w_2 b + w_3 c + w_4 d \quad (6)$$

初始权数由下式计算:

$$w_1 = 1 / ( \| (\lceil m/2 \rceil, \lceil n/2 \rceil) - (m/2, n/2) \|^2 + 1 ) \quad (7)$$

$$w_2 = 1 / ( ( \lceil m/2 + 1 \rceil, \lceil n/2 \rceil ) - (m/2, n/2) \|^2 + 1 ) \quad (8)$$

$$w_3 = 1 / ( ( \lceil m/2 \rceil, \lceil n/2 + 1 \rceil ) - (m/2, n/2) \|^2 + 1 ) \quad (9)$$

$$w_4 = 1 / ( ( \lceil m/2 + 1 \rceil, \lceil n/2 + 1 \rceil ) - (m/2, n/2) \|^2 + 1 ) \quad (10)$$

其中  $\|z\|$  是  $z$  的 Euclidean(距离)长度。和是 1 的标准的权数是从初始数据经下式计算出来的,

$$W_s = w_s / \sum_{q=1, \dots, 4} w_q \quad (11)$$

如果在初始图像点存在一个像素被映射到  $(m, n)$ , 方程(6)中模糊加权平均是在  $(m/2, n/2)$  上像素的模糊插值, 因此, 在扩大的像点里把插值的灰度值  $P(m/2, n/2)$  用作  $(m, n)$  位置上的像素灰度值。对于新扩大像点的所有像素来说, 这种方法填充了所有灰度, 也使其稍微平滑, 而这灰度包括了与最近的相邻插值有关的像素块, 这种方法是在常用双线性插值基础上的改进。

## 2 实验

图 5 显示的是定初始图像 buiding.tif, 为了更好地在 C 程序中应用, 将其转化为 buiding.pgm, 在图 2 中添加了很大的随机噪声。

此后图 3 和图 4 图像都经过了矩形同步化处理, 在图 5 中呈现了放大图像融合处理的结果。

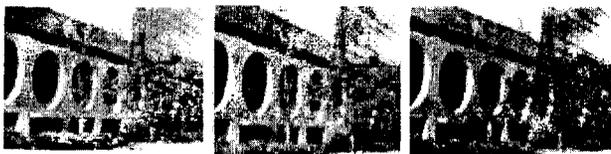


图 2 原始图像 图 3 输入图像(1) 图 4 输入图像(2)

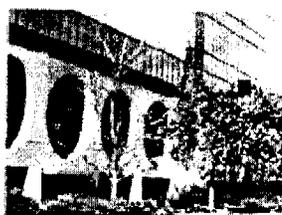


图 5 扩大融合图

## 3 结论

文中采用同样的场景 ( $R \geq 2$ ) 的  $R$  个像素, 去除斑点

噪声, 经直方图均衡化, 通过直方图分解来寻找需要融合的部分, 配准该子图像, 然后计算所有  $R$  像点的每个像素的 psf 值。最后在同一个地方对所有的像素同时一起考虑, 将像点融合, 通过比较  $P$ -psf's 并为最大的 psf 找出这个  $r^*$ , 这个  $r^*$  像点的像素被放入该位置的输出像点。

将计算结果进行比较(每个图像都有一个模糊的位置), 可以清楚看到, 被融合的图 5 的每个地点都是清晰的。因此, 在模糊位置不重合的情况下, 这种融和方法是非常有效的, 还有, 使用 3-平衡均值方法去除噪声也是很成功的, 图 5 显示了这一点。笔者仍在考虑用更好的方法来改进它。在式(6)中可找到总体的模糊插值。目前正在寻找新的方法来改进像素融合。这里所有处于同一位置的输入像素都可以被削减。

## 参考文献:

- [1] Yamany S M, Farg A A, Hsu S Y. A fuzzy hyperspectral classifier for automatic target recognition (ATR) systems[J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 20: 1431 - 1438.
- [2] Brown L G. A survey of image registration techniques[J]. ACM Computing Reviews, 1992, 24(4): 325 - 376.
- [3] Zhang S L, Sun S H, Zhong F Z. Image fusion based on median filters and SOFM neural networksthree - step scheme[J]. Signal Processing, 2001, 81, 1325 - 1330.
- [4] Bednar J B, Watt T L. Alpha - trimmed means and their relationship to median filters[J]. IEEE Trans Acoustics, Speech & Signal Processing, 1984, 32: 145 - 153.
- [5] Kim K T. Contrast enhancement using brightness preserving bi - histogram equalization[J]. IEEE Trans on Consumer Electronics, 1997, 43(1): 1 - 8.
- [6] Kim Y T K. Quantized bi - histogram equalization[J]. IEEE Trans Acoustics, Speech and Signal Processing, 1997(4): 2297 - 2800.
- [7] Green G V O, Chrien T G, Enmark H T, et al. The airborne visible infrared/imaging spectrometer (AVIRIS) [J]. Remote Sensing of the Environment, 1993, 44: 127 - 143.
- [8] Li S, Kwok J T, Wang Y. Combination of images with diverse focuses using spatial frequency[J]. Information Fusion, 2001 (2): 1969 - 176.
- [9] Looney C G. Fuzzy and rule - based image convolution[J]. Mathematics and Computers in Sunudation 2000, 51: 209 - 219.
- [2] 许多, 严洪森. 基于模糊支持向量机的产品设计时间估计方法[J]. 中国机械工程, 2005, 16(6): 533 - 537.
- [3] 汪 峥, 严洪森. 产品开发过程并行度优化[J]. 计算机集成制造系统——CIMS, 2002, 8(1): 851 - 857.
- [4] 汪 峥, 严洪森, 刘霞玲, 等. 并行工程团队的量化组织方法[J]. 系统工程学报, 2001, 16(6): 443 - 449.
- [5] 汪 峥, 严洪森, 刘霞玲, 等. 基于 ESHLEP - N 的产品开发过程建模、调度与仿真[J]. 控制与决策, 2001, 16(3): 282 - 286.

(上接第 36 页)

现方案, 并进行了实用性开发。它的出现使得管理者可以根据现有的实际情况快速高效地制订计划, 设定开发步骤的起始时间, 合理分配资源, 从而达到缩短项目开发时间、提高资源利用率的目的。

## 参考文献:

- [1] 许多, 严洪森. 产品设计时间智能预测方法的研究[J]. 控制与决策, 2004, 19(2): 143 - 146.