

# Image Fusion

## Chapter 3 –pixel level image fusion

**Assoc. Prof Xiao Gang**

**Email: [Xiaogang@sjtu.edu.cn](mailto:Xiaogang@sjtu.edu.cn)**

**Office: Aerospace Room.1431**

**Tel/Fax:021-34206192**

**Mobile:13918459696**



# 第3章 多源图像像素级融合

像素级多源图像融合算法可大致分为两大类：基于空间域的图像融合算法和基于变换域的图像融合算法。

- 基于空间域的图像融合算法一般是直接在图像的像素灰度空间上进行融合；
- 基于变换域的图像融合算法先对待融合的多源图像进行图像变换(如金字塔变换、小波变换)，融合处理是对变换后的系数进行组合。

目前基于变换域的图像融合算法是研究热点。



## 3.1 常用的基于空间域的图像融合算法

- 加权融合

最直接的融合方法就是对原图像进行加权平均。加权平均运算提高了融合图像的信噪比，但削弱了图像的对比度，在一定程度上使得图像中的边缘变模糊。加权平均图像融合具有算法简单、融合速度快的优点，但在多数应用场合，该图像融合算法难以取得满意的融合效果。

$$F(m,n)=\omega_1 A(m,n)+\omega_2 B(m,n)$$



## 3.1 常用的基于空间域的图像融合算法

- 假彩色图像融合

就目前的硬件技术条件而言，假彩色(False Color)图像融合处理可以说是较容易实现的图像融合算法，并且人类视觉系统对融合结果也较容易分辨。一般是通过彩色映射的方法将输入图像映射到一个彩色空间中，得到一幅假彩色的融合图像。假彩色融合算法一般可分为基于RGB彩色空间的图像融合算法和基于IHS彩色空间的图像融合算法。

假彩色图像融合的关键是要融合图像的可视效果尽可能符合人的视觉习惯。



## 3.1 常用的基于空间域的图像融合算法

- 基于调制的图像融合

用于图像融合中的调制手段一般适用于两幅图像的融合处理。具体操作一般是将一幅图像进行归一化处理，然后将归一化的结果与另一图像相乘，最后重新量化后进行显示。

这种处理方式相当于无线电技术中的调幅 (Amplitude Modulation)。用于图像融合中的调制技术一般可分为**对比度调制技术**和**灰度调制技术**。



## 3.1 常用的基于空间域的图像融合算法

- 基于统计的图像融合

当采用统计方法进行图像融合时，它是从信号与噪声的角度考虑图像融合问题。首先在建立成像传感器统计模型的基础上，确定出融合优化函数，进行参数估计。通过估计传感器特性和传感器之间的关系来进行图像融合。

- Lafert J.M.等将基于统计的图像融合算法与基于多尺度分解的图像融合算法相结合，提出了系统的统计融合模型；
- Xia Y.等在建立系统统计模型的基础上，通过融合处理来降低或消除融合图像中的噪声成分

基于统计的图像融合算法能够降低噪声对融合结果的影响，增强融合图像的信噪比。



## 3.1 常用的基于空间域的图像融合算法

- 基于神经网络的图像融合

神经网络的输入向量经过一个非线性变换，可得到一个输出向量，这样的变换能够产生从输入数据到输出数据的映射，从而使神经网络能够把多个传感器数据变换为一个数据来进行说明表示。

神经网络以其特有的**并行性**和**学习方式**，提供了一种完全不同的图像融合方法。

**问题：**需要解决如网络模型、网络层次和每层节点数、网络学习策略、神经网络方法与传统的分类方法关系和综合应用等基础工作问题。



## 3.2 基于变换域的图像融合算法

- 基于变换域的图像融合算法的基本思想是先对待融合的图像进行图像变换(如DCT变换、小波变换)以得到各图像分解后的系数表示, 然后对这组系数表示按一定的融合规则进行融合处理得到一个融合后的系数表示, 最后经过图像逆变换获得融合后图像。
- 目前基于变换域的图像融合研究中, 大部分是基于多尺度分解的图像融合算法。





### 3.3多源图像融合中的多尺度分解方法

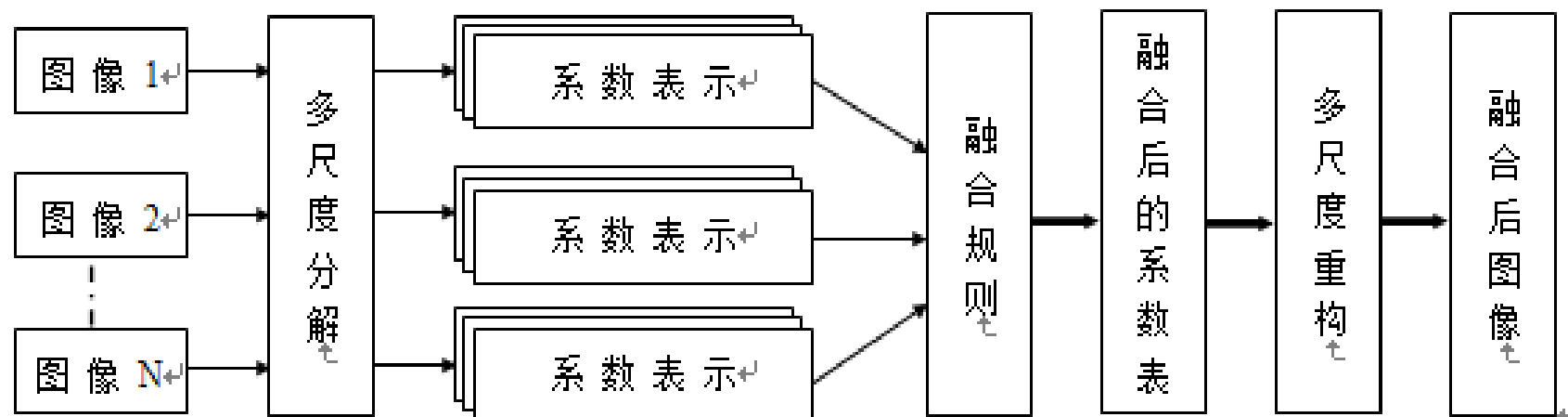


图3.1 基于多尺度分解的图像融合结构图

## 3.3多源图像融合中的多尺度分解方法

- 多尺度分解方法的分类

基于多尺度分解的图像融合算法按采用的多尺度分解方法不同可分为：

- 基于金字塔变换的图像融合算法
- 基于小波变换(包括由基本的离散小波变换衍生的各种改进小波变换)的图像融合算法
- 基于其它图像变换(如DCT变换)的融合算法



## 3.3.1 基于金字塔变换的图像融合算法

- 有关多尺度分解方法的研究，有近二十多年的历史，它最初始于Burt P.J.和Adelson。他们首次提出了高斯金字塔变换结构，其它金字塔变换方法大多是在此结构及其派生结构的基础上建立起来的。包括：
  - 拉普拉斯金字塔变换
  - 基于对比度金字塔变换
  - 基于梯度的金字塔变换



## 3.3多源图像融合中的多尺度分解方法

- **基于多尺度分解的图像融合算法**
- **拉普拉斯金字塔变换**中的各高频子带就是高斯金字塔中每一层图像与在其下一层图像基础上对其进行预测所得到的预测图像之差形成的一系列误差图像。在将原图像分解成拉普拉斯金字塔表示的基础上，Burt P. J.选取绝对值大的系数作为融合后的系数。这是因为在高频子带中，绝对值较大的系数包含着更多的信息，它们往往对应于图像中的边缘、线条及区域边界等重要信息。
- **基于对比度金字塔变换**：对比度金字塔变换类似于拉普拉斯金字塔变换，但它的每一层图像是高斯金字塔变换中相邻两层图像的比率。Toet A.等将对比度金字塔应用于前视红外和可见光图像融合中。这种算法能够较好地保留图像中的细节信息。
- **基于梯度的金字塔变换**：通过对高斯金字塔中每层图像进行梯度算子运算，便可获得图像的梯度金字塔表示。梯度金字塔的每一分解层都包含着水平、垂直及两对角线方向的细节信息。梯度金字塔分解能很好地提取出图像的边缘信息，提高了稳定性和抗噪性。



## 3.3.2 基于小波变换的图像融合算法

小波变换是一种类似于金字塔变换的图像处理方法。是一种**广义的金字塔变换方法**。

- 离散小波变换具有良好的时频联合分析特性，离散小波变换在提取图像低频信息的同时，还可获得了水平、垂直以及对角三个方向的高频细节信息。
- 在理论上，与传统的基于金字塔变换的融合算法相比，具有更好的融合效果。
- 理论研究和实际应用都是基于离散小波变换的融合算法。



## 3.3.2 基于小波变换的图像融合算法

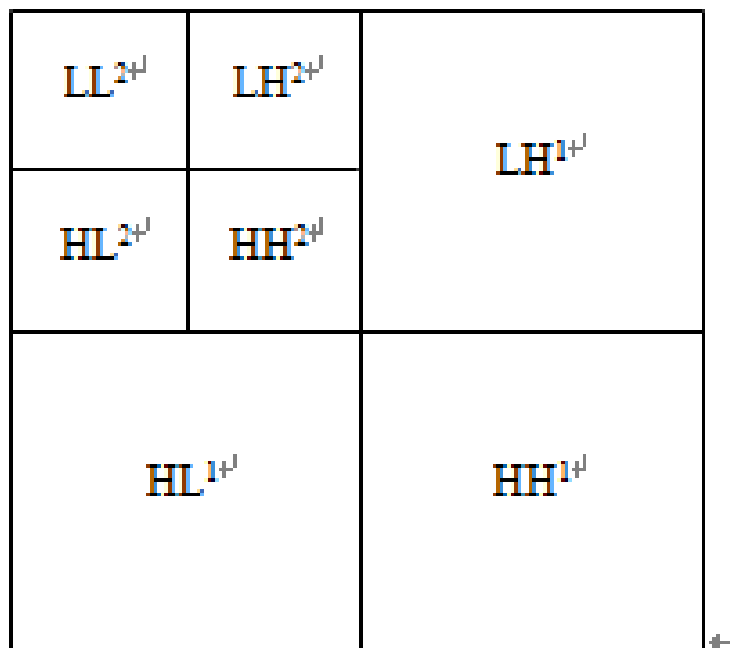


图 3.2 图像离散小波变换分解示意图

左图形象地表示了图像的两层小波分解。可以看到，在每一分解层上，图像被分解为LL,LH,HL和HH四个频带；下一层仅对低频分量LL进行分解。通过小波变换,图像被分解成逼近图像和细节图像之和，可认为它是一个将图像在两个相互垂直的空间频率上进行变换的过程。离散小波变换在提取图像低频信息的同时，又获得了三个方向的高频边缘细节信息

Multi-resolution decompose

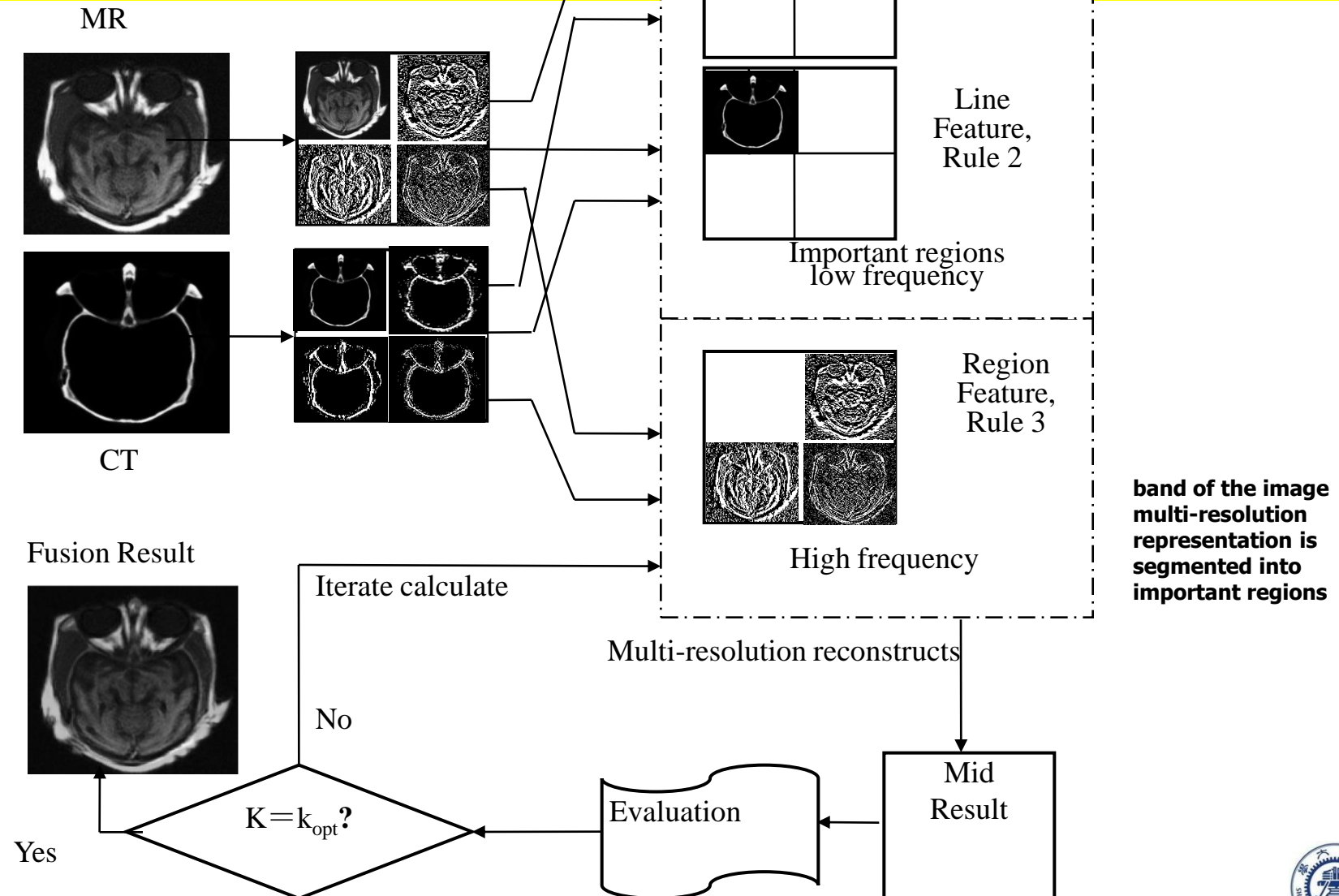


Fig.1 The fusion flowchart for MR/CT Images

## 3.3.2 基于小波变换的图像融合算法

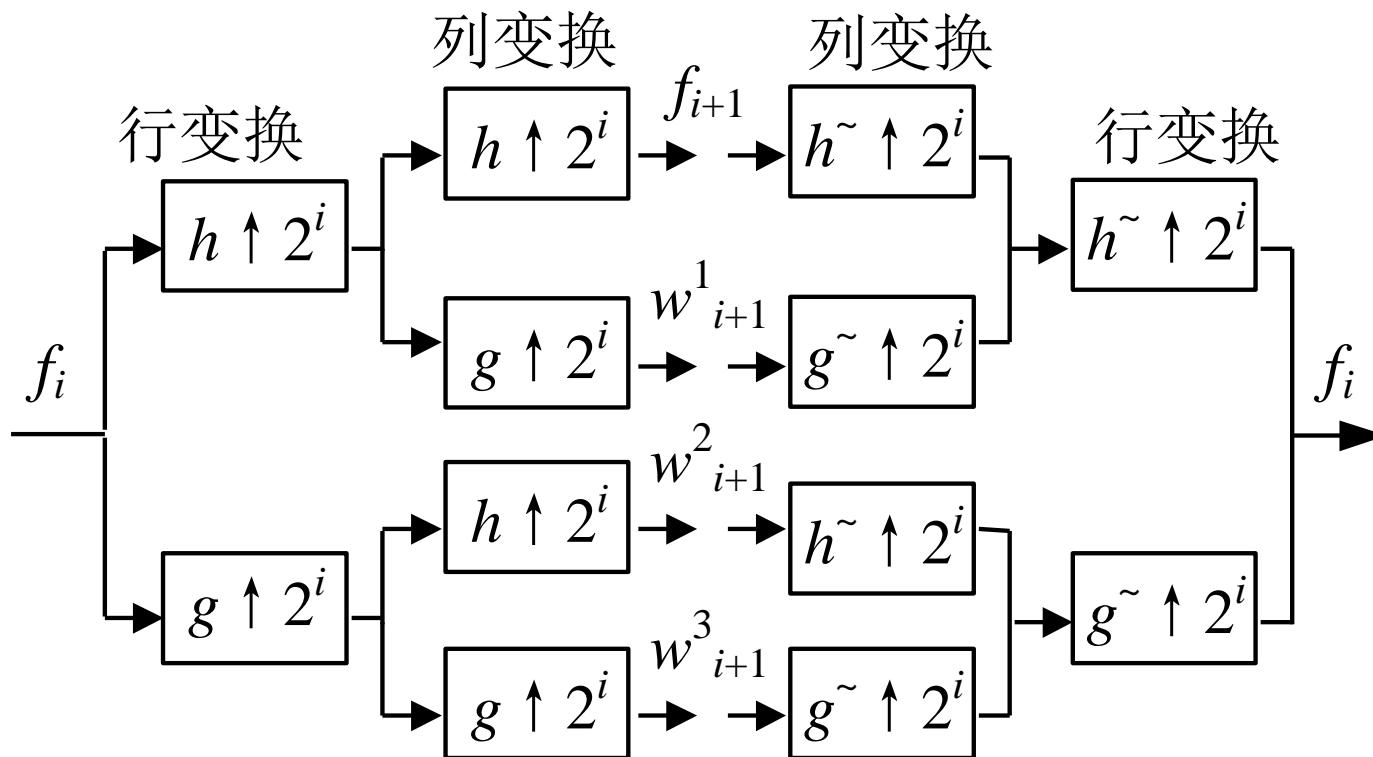
- 离散小波框架变换

在进行小波变换时，由于采用行列降采样，使图像的大小发生了变化，每层图像的大小均为其上一层图像大小的 $1/4$ ，这种变化在图像融合处理过程中往往是不利的。与离散小波变换比较而言，离散小波框架变换未进行降采样处理，使得变换后的信号大小未发生变化，这有利于图像的融合处理。





## 3.3.2 基于小波变换的图像融合算法



图像的离散小波框架变换分解与重建过程

## 3.3.2 基于小波变换的图像融合算法

- 小结：典型图像变换有金字塔变换(Pyramid Transform)和离散小波变换(Discrete Wavelet Transform)。
- 离散小波变换与传统的金字塔变换相比有良好的时频联合分析特性，能较好地表示图像中的重要信息，在图像融合处理中得到较好应用。
- 离散小波变换不具有平移不变性，也就是说当信号发生轻微平移时，图像分解后的系数将发生很大变换，这是由于在变换过程中进行降采样所造成的。在进行基于离散小波变换的图像融合时，特别是在原图像之间存在配准误差的情况下，离散小波变换因不具有平移不变性对图像融合带来不利影响。



### 3.3.3 改进的多尺度分解方法

- 基于方向金字塔变换(Steerable Pyramid Transform)提出一种**方向金字塔框架变换(Steerable Pyramid Frame Transform)**，然后通过将方向滤波器(Steerable Filters)与不可分离小波变换(Non-separable Wavelet Transform)相结合提出一种**方向可调的不可分离小波框架变换(Steerable Non-separable Wavelet Frame Transform)**。



### 3.3.4 实验结果及评价

- 比较各种多尺度分解方法在图像融合方面的性能，采用图3.10(b)和(c)中的两幅图像进行融合实验，这两幅图像是通过对一幅参考图像(图3.10(a))的不同部分进行模糊操作而产生的，其中：图3.10(b)是对图3.10(a)中的背景区域(书架)高斯模糊后产生的图像，图3.10(c)是对图3.10(a)中的前景区域(座钟)高斯模糊后产生的图像，高斯模糊半径均为2.0。本节实现了基于拉普拉斯金字塔变换(LPT)、基于离散小波变换(DWT)、基于离散小波框架变换(DWFT)、基于方向金字塔变换(SPT)、基于方向可调的二进小波变换(SDWT)、不可分离小波框架变换(NWFT)的图像融合、以及基于本节提出的方向金字塔框架变换(SPFT)、方向可调的不可分离小波框架变换(SNWFT)的图像融合。



### 3.3.4 实验结果及评价



(a) 参考图像



(b) 背景(书架)模糊后的图像



(c) 前景(座钟)模糊后的图像



(d) 误差图像(LPT 融合)



(e) 误差图像(DWT 融合)



(f) 误差图像(DWFT 融合)



### 3.3.4 实验结果及评价



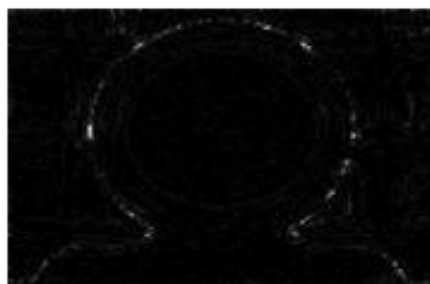
(g) 误差图像 (SPT 融合)



(h) 误差图像 SDWT 融合)



(i) 误差图像 (NWFT 融合)



(j) 误差图像 (SPFT 融合)



(k) 误差图像 (SNWFT 融合)

# 3.3.4实验结果及评价

表 3.1 融合实验性能评价

		均方根 误差	信息熵	互信息	边缘保 持度
常用 变换	拉普拉斯金字塔变换	2.2811	7.4645	7.1189	0.7091
	离散小波变换	2.3661	7.4632	6.7474	0.7046
	离散小波框架变换	1.1652	7.4517	7.6000	0.7245
	方向金字塔变换	1.3515	7.4468	7.5992	0.7242
	方向可调的二进小波变换	1.4968	7.4385	7.3708	0.7212
	不可分离小波框架变换	1.1091	7.4459	7.6457	0.7260
本节 变换	方向金字塔框架变换	1.1984	7.4475	7.7758	0.7261
	方向可调的不可分离小波框架变换	1.0976	7.4531	7.6367	0.7250



### 3.4基于多尺度分解的传统多源图像像素级融合算法

- 本节主要针对多源静态图像融合(Static Image Fusion)中的融合规则进行研究，基于上一节提出的方向金字塔框架变换、方向可调的不可分离小波框架变换提出三类多源静态图像融合算法：
  - 基于区域的多传感器图像融合算法
  - 基于像素清晰度的多聚焦图像融合算法
  - 基于彩色传递的遥感图像融合算法





## 3.4.1 多传感器图像融合算法

图像融合规则是图像融合研究的核心，规则的好坏直接影响图像融合质量。目前常用的融合规则包括：

- 基于像素的图像融合规则
- 基于窗口的图像融合规则



## 3.4.1 多传感器图像融合算法

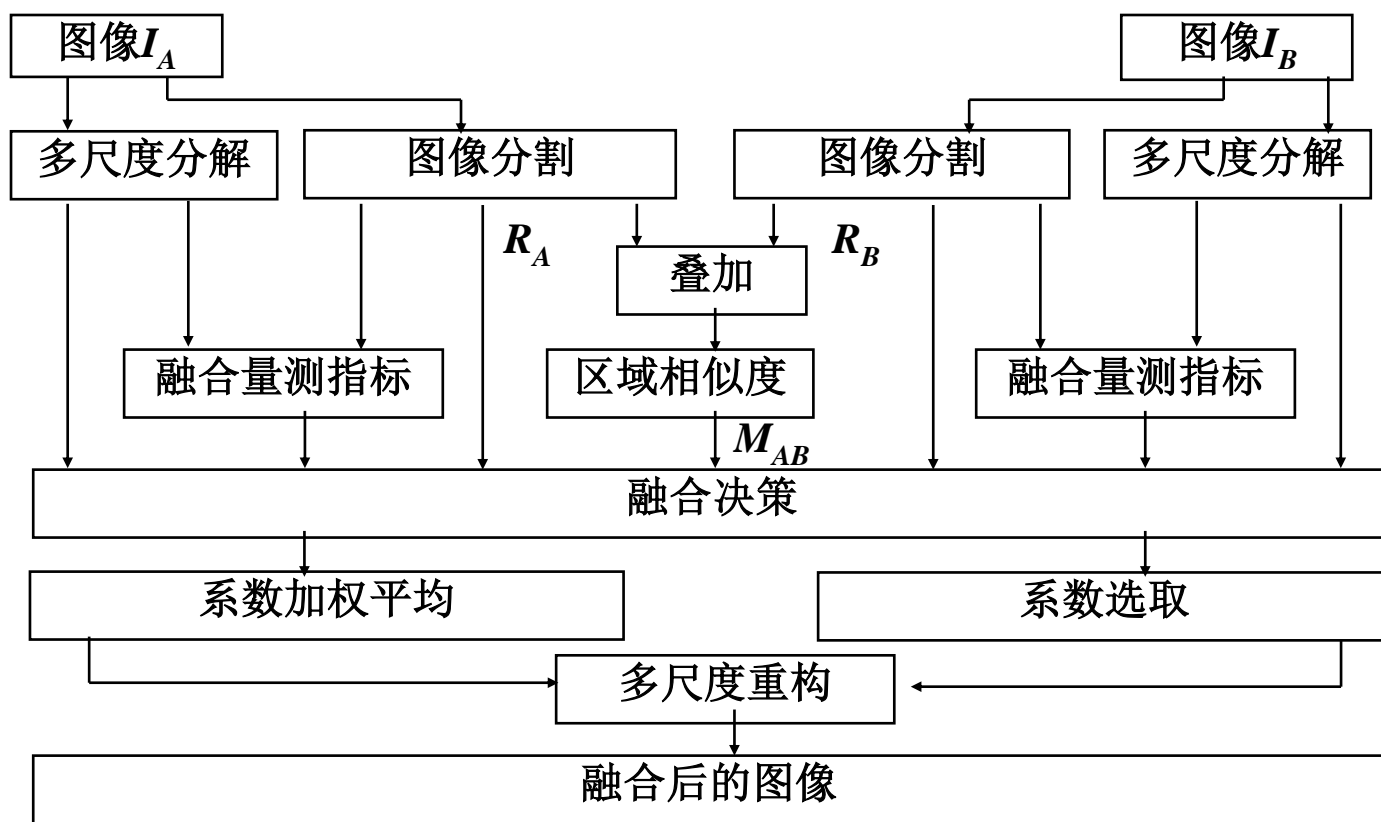
### (1) 基于区域的融合规则

- 但是图像的局部特征往往不是由单个像素或者局部窗口内的像素的图像变换系数所能表示的，它是由某一局部区域的多个像素的图像变换系数来表示和体现的。通常图像中某一局部区域内的各像素间具有较强的相关性。Zhang .Z、Piella G.等提出了基于区域的融合规则，将图像中每个像素均看作区域或边缘的一部分，并用区域和边界等信息来指导融合选取。



# 3.4.1 多传感器图像融合算法

## (1) 基于区域的融合规则

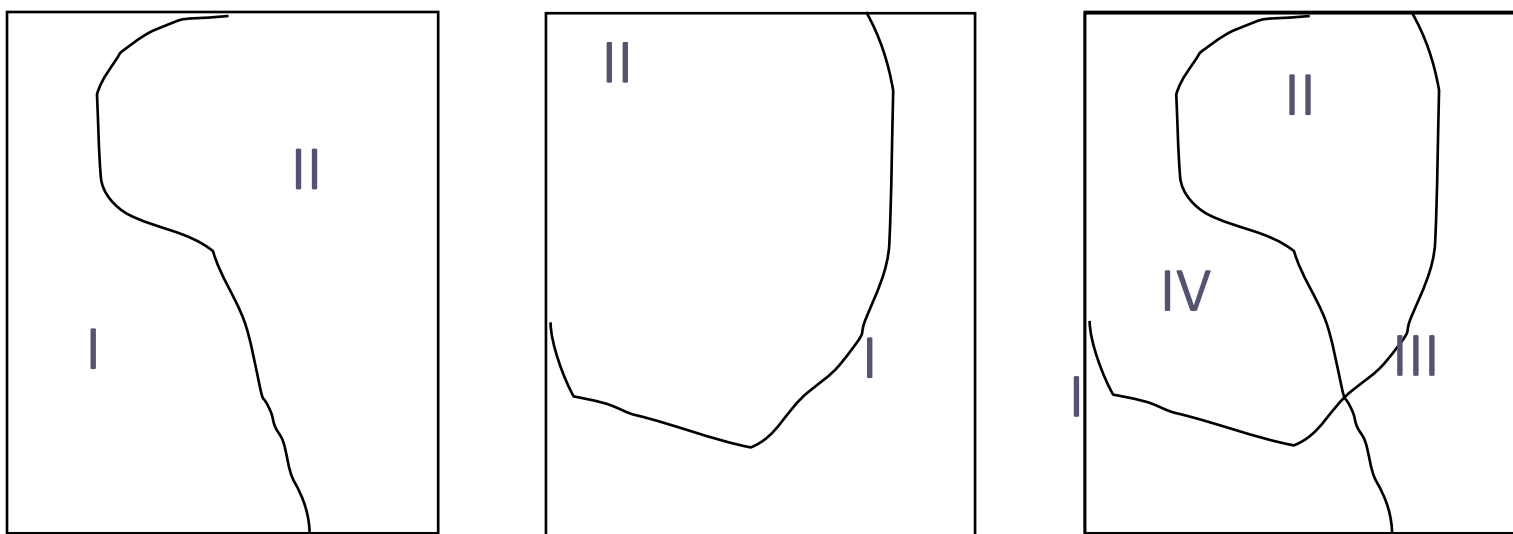


基于区域的多传感器图像融合算法框图



# 3.4.1 多传感器图像融合算法

## (1) 基于区域的融合规则



(a) 区域表示 $R_A$ ; (b) 区域表示 $R_B$ ; (c)  $R_A$ 和 $R_B$ 叠加后的共用区域表示 $R$ .  
共用区域表示的生成示例



## 3.4.1 多传感器图像融合算法

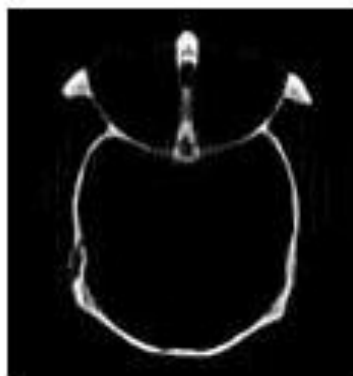
### (1) 基于区域的融合规则

采用了区域生长与区域合并的图像分割方法。经图像分割后，假设两幅待融合图像 $I_A$ 和 $I_B$ 的区域表示为 $R_A$ 和 $R_B$ ，两图像的共用区域表示为 $R$ 。根据两幅待融合图像的共用区域表示 $R$ 来计算两图像间相应区域的相似性测度。对于任意区域 $r \in R$ ，两图像在该区域的相似性测度定义为：

$$M_{AB}(r) = \frac{1}{3} \cdot \left\{ \frac{\sum_{(x,y) \in r} [I_A(x,y) - E_A(r)] \cdot [I_B(x,y) - E_B(r)]}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in r} [I_A(x,y) - E_A(r)]^2 \cdot \sum_{(x,y) \in r} [I_B(x,y) - E_B(r)]^2}} + 2 - \frac{|E_A(r) - E_B(r)|}{\text{Max}(E_A(r), E_B(r))} - \frac{|\Delta_A(r) - \Delta_B(r)|}{\text{Max}(\Delta_A(r), \Delta_B(r))} \right\}$$



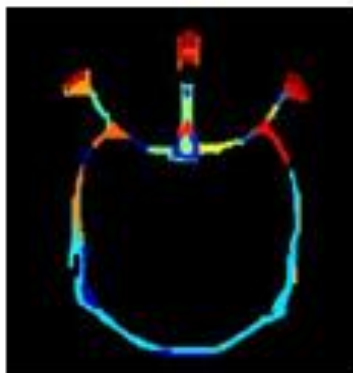
### 3.4.1 实验结果及评价



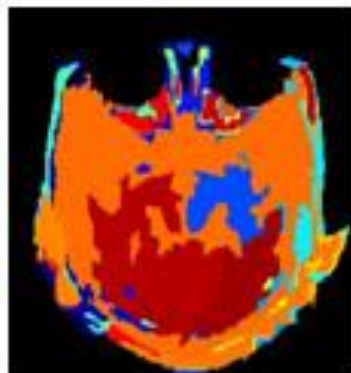
(a) CT 图像



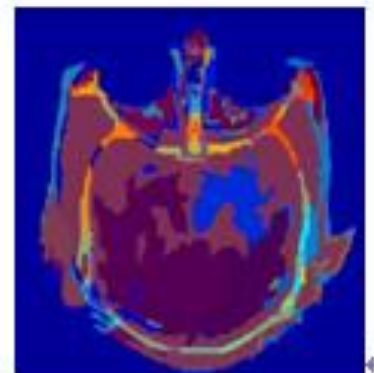
(b) MRI 图像



(c) CT 图像区域表示



(d) MRI 图像区域表示

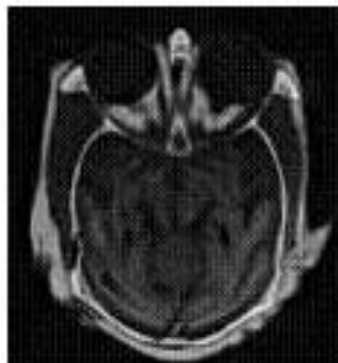


(e) 共用区域表示

## 3.4.1 实验结果及评价



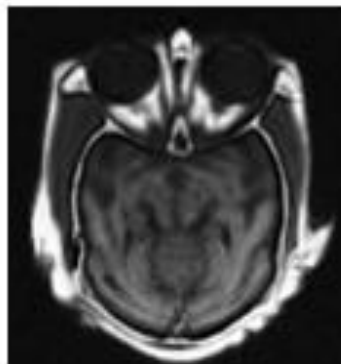
(f) “Pixel+DWT” 融合



(g) “Window+GP” 融合



(h) “Window+DWT” 融合



(i) “Region+DWFT” 融合



(j) 本节 “Region+SPFT” 融合



(k) 本节 “Region+SNWFT” 融合

### 3.4.1 实验结果及评价



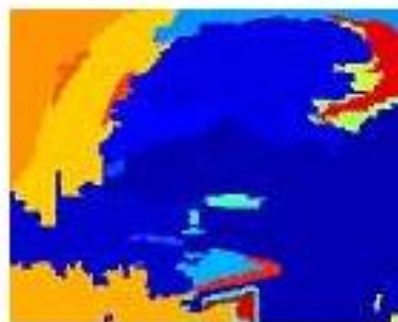
(a) 前视红外图像



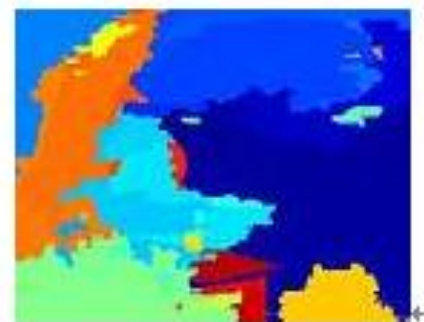
(b) 可见光图像



(c) 前视红外图像区域表示



(d) 可见光图像区域表示



(e) 共用区域表示



## 3.4.1 实验结果及评价



(f) “Pixel+DWT” 融合



(g) “Window+GP” 融合



(h) “Window+DWT” 融合



(i) “Region+DWFT” 融合



(j) 本节 “Region+SPFT” 融合



(k) 本节 “Region+SNWFT” 融合



## 3.4.1 实验结果及评价

- 注：在表示各融合算法时，Pixel表示融合规则采用基于像素的融合规则，Window表示融合规则采用基于窗口的融合规则，Region表示融合规则采用基于区域的融合规则；GP表示多尺度分解采用梯度金字塔变换，DWT表示多尺度分解采用离散小波变换，DWFT表示多尺度分解采用离散小波框架变换，SPFT表示多尺度分解采用方向金字塔框架变换，SNWFT表示多尺度分解采用方向可调的不可分离小波框架变换。



# 3.4.1 实验结果及评价

表 3.2 融合实验 1 中各融合算法的性能评价

		信息熵	互信息	边缘保持度
已有 算法	蒲恬: <u>Pixel+DWT</u>	6.1841	2.5761	0.4092
	Burt P J: <u>Window+GP</u>	6.2664	2.8576	0.6616
	Li H: <u>Window+DWT</u>	6.2034	2.6157	0.5419
	Piella G: <u>Region+DWT</u>	6.7555	4.1028	0.7219
本节 算法	Region+ SPFT	6.8421	3.5500	0.7352
	<u>Region+SNWFT</u>	6.7609	4.5771	0.7546



## 3.4.1 实验结果及评价

表 3.3 融合实验 2 中各融合算法的性能评价

		信息熵	互信息	边缘保持度
已有 算法	蒲恬: Pixel+DWT	6.3601	1.3574	0.3783
	Burt P J: Window+GP	6.2737	1.4751	0.4267
	Li H: Window+DWT	6.3431	1.3637	0.3701
	Piella G: Region+DWFT	7.0913	2.6726	0.3929
本节 算法	Region+ SPFT	7.1280	2.9972	0.4303
	Region+SNWFT	7.1337	3.2580	0.4135



## 3.4.2 多聚焦图像融合算法

- 与多传感器图像融合相比，多聚焦图像融合具有其自身的特点：由于聚焦点的不同，多聚焦图像中具有不同的清晰区域和模糊区域，多聚焦图像融合的目的就是选取各幅待融合图像中的清晰区域并将其组合成一幅图像。



## 3.4.2 多聚焦图像融合算法

- 本节提出了一种基于像素清晰度的多聚焦图像融合算法：首先根据各图像经多尺度分解后的系数求取各图像中像素的清晰度量测指标，然后对来自清晰区域的系数进行组合，并进行一致性校验，最后对组合后的系数进行逆变换从而得到融合后的图像。该算法避免了基于块分割的多聚焦图像融合算法中最优块分割的大小难以确定以及对同时包含模糊与清晰区域的块难以处理的问题。



## 3.4.2 多聚焦图像融合算法



(a) 待融合图像1(左侧聚焦)



(b) 待融合图像2(右侧聚焦)



(c) 理想融合图像(人工拼贴)



(d) “Pixel+DWT” 融合图像



(e) “Region+DWT” 融合图像



(f) 块分割算法融合图像



## 3.4.2 多聚焦图像融合算法



(g) 本节算法(采用 SPFT)融合图像



(h) 本节算法(采用 SNWFT)融合图像



## 3.4.2 多聚焦图像融合算法



(i) “Pixel+DWT”<sup>[32]</sup>误差图像 (j) “Region+DWT”<sup>[14]</sup>误差图像 (k) 块分割算法<sup>[79]</sup>

误差图像



(l) 本节算法(采用 SPFT)误差图像 (m) 本节算法(采用 SNWFT)误差图像



## 3.4.2 多聚焦图像融合算法

表 3.4 多聚焦图像融合实验性能评价

		均方根误差	信息熵	互信息	边缘保持度
已有 算法	文献[52]: Pixel+DWT	4.6254	7.0430	6.6842	0.6560
	文献[14]: Region+DWT	2.1225	6.9890	8.4660	0.7149
	文献[79]: 块分割	1.8094	6.9786	8.6463	0.7260
本节 算法	SPFT	1.6659	7.0228	8.4600	0.7248
	SNWFT	1.5726	7.0257	8.4734	0.7256



## 3.4.2 遥感融合算法

- 基于多尺度分解的遥感图像融合算法被广泛的应用于遥感图像融合处理之中，典型的为基于离散小波变换(DWT)的遥感图像融合算法和基于离散小波框架变换(DWFT)的遥感图像融合算法。



## 3.4.2 遥感融合算法

### ● 基于色彩传递的遥感融合算法

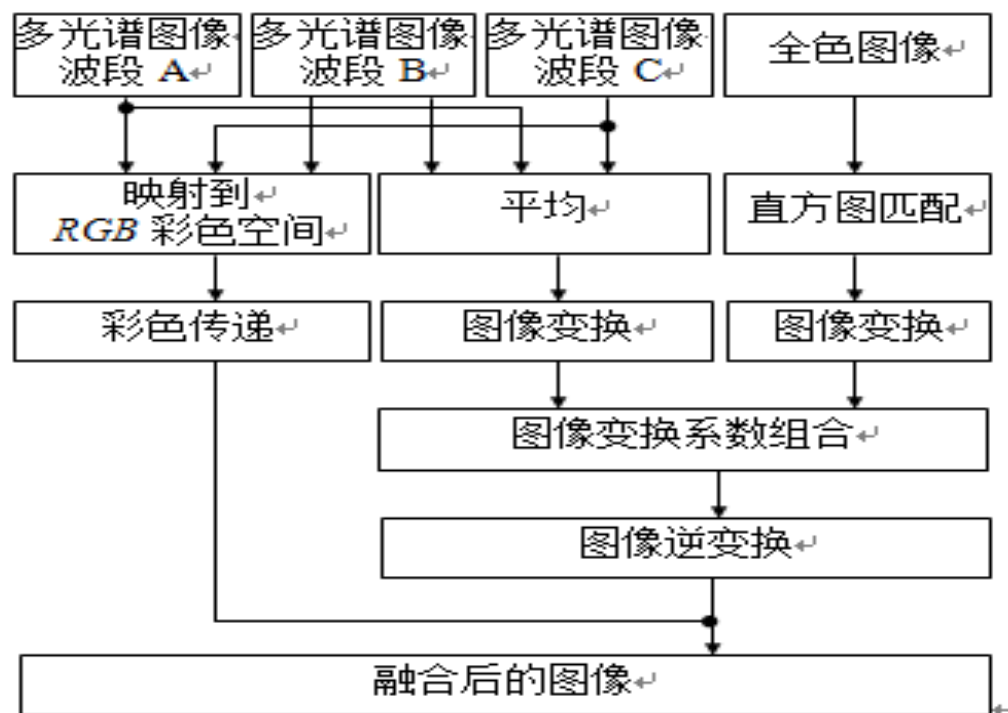


图 3.18 基于彩色传递的遥感图像融合算法框图

## 3.4.2 遥感融合算法



(a) 1 米分辨率的全色图像



(b) 重采样后的 4 米分辨率的多光谱图像



(c) 基于 IHS 的算法融合



(d) 基于 DWT 的算法融合



(e) 基于 DWFT 的算法融合



## 3.4.2 遥感融合算法



(f) 本节基于 SPFT 的算法融合



(g) 本节基于 SNWFT 的算法融合

图 3.19 遥感图像融合实验 1



## 3.4.2 遥感融合算法



(a) 10 米分辨率的全色图像 (b) 重采样后的 30 米分辨率的多光谱图像



(c) 基于 IHS 的算法融合 (d) 基于 DWT 的算法融合 (e) 基于 DWFT 的算法融合

## 3.4.2 遥感融合算法



(f) 本节基于 SPFT 的算法融合      (g) 本节基于 SNWFT 的算法融合

图 3.20 遥感图像融合实验 2



## 3.4.2 遥感融合算法

表 3.5 融合图像与多光谱图像之间的光谱偏差

		实验 1			实验 2		
		R 通道	G 通道	B 通道	R 通道	G 通道	B 通道
已有 算法	IHS 变换融合	46.8000	46.9187	46.9262	33.2968	33.3067	32.9914
	Zhou J: DWT	22.9792	22.1503	22.5715	26.0627	25.2825	25.6141
	Li S T: DWFT	22.0723	21.2408	21.4173	25.4762	24.7163	25.0722
本节 算法	SPFT	17.3865	18.6174	17.6328	21.2376	23.2766	17.5576
	SNWFT	17.1921	18.3928	17.4007	20.1001	22.0136	16.6349



## 3.4.2 遥感融合算法

表 3.6 融合图像的平均梯度

		实验 1			实验 2		
		R 通道	G 通道	B 通道	R 通道	G 通道	B 通道
已有 算法	IHS 变换融合	19.6571	19.6152	19.1113	26.1496	26.1975	25.7652
	Zhou J: DWT	19.2112	18.3711	17.8367	26.8042	25.9694	26.3207
	Li S T: DWFT	19.0402	18.1827	17.5886	26.7976	25.9401	26.3351
本节 算法	SPFT	19.3420	19.9636	19.0026	26.2383	28.4920	22.2326
	SNWFT	19.2873	19.9061	18.9315	25.9537	28.1797	22.0010



## 3.4.2 遥感融合算法

- 平均梯度可敏感的反映融合图像对微小细节反差表达的能力，可用来评价融合图像的清晰程度。空间梯度越大，说明融合图像越清晰。各融合图像与源多光谱图像之间光谱偏差见表3.5，各融合图像的平均梯度见表3.6。从表中可以看出，本节算法的融合图像在提高空间分辨率清晰度的同时能较好的保持多光谱图像的光谱信息。



- Thanks!
- Questions?

