

# Image Fusion

## Chapter 8 - Performance evaluation for multi-source 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**



# 多源图像融合评价方法

- 8.1 多源图像融合评价方法研究的必要性
- 8.2 多源图像融合评价方法研究
- 8.3 高光谱数据信噪比估算研究



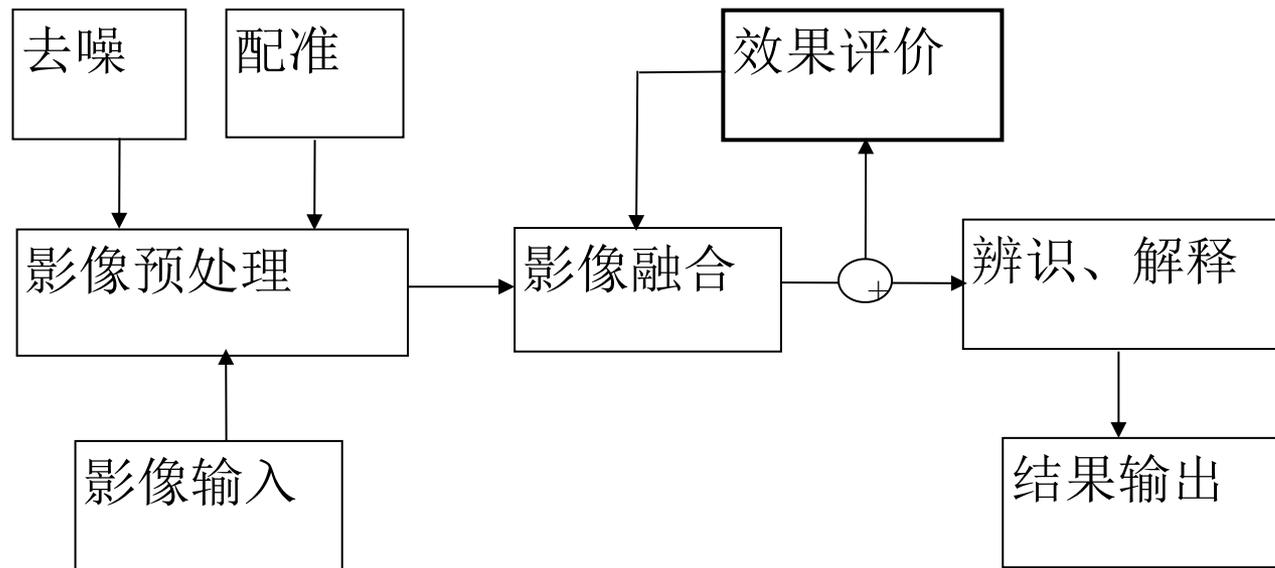
# 8.1 多源图像融合评价方法研究的必要性

- 对融合图像进行评价研究，对于在实际应用中选择适当的融合算法以及对现有融合算法的改进和研究新的融合算法都是非常重要的。目前对融合图像进行的评价一般只涉及定性评价，或者是对单因素评价指标的研究，这在实际应用中具有相当的局限性。
- 目前，最常用的评价方法仍然停留在对不同的图像融合结果由单因素的定量指标进行评价，或者是由专家进行诸如好、较好、一般、不好等定性的等级评分。因为由于缺乏客观的评价标准，不同的人可能会对同一融合结果有着截然不同的评价结论。当前融合效果的客观评价问题一直未得到很好的解决。



# 8.1 多源图像融合评价方法研究的必要性

- 就图像融合的结构模型而言，将图像融合评价的信息加入到融合规则的选取和参数选取的选择过程中，可以更充分地利用信息源提供的信息。



# 8.1 多源图像融合评价方法研究的必要性

- 本章针对图像融合时存在的评价问题, 分析研究了图像融合定性评价和定量评价的不同方法, 基于这些方法的特点和相互关系, 提出了图像的**独立单因素指标**、**联合单因素指标**、**综合评价指标**和**图像融合评价体系**概念。
- 同时, 对多(高)光谱遥感数据信噪比评估也进行了深入研究, 并作为图像融合评价体系的一个组成部分。
- 基于**ENVI/IDL**平台/**Matlab**平台实现了图像融合评价软件平台, 利用四组不同融合图像来验证利用该评价平台可以全面、客观的分析图像融合的性能指标。



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

### 8.2.1 图像融合的定性评价

- 图像融合的定性评价就是通常意义上的主观评价，其通常可以分为两类：一类是未经过训练的观察者；另一类是对图像技术有经验的观察者，他们能够凭自己的观察对图像的质量提出相对严格的判断，其对一些明显的图像信息进行评价显得直观、快捷和方便，对一些暂无较好客观评价指标的现象可以进行定性说明。



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

- 这种评价方式最大的不足是整个过程非常烦琐。如果没有可能进行大量的统计，所获得的结论可能不准确。另外，目前对人的视觉特性还没有充分了解，对人的心理因素也还找不出定量描述的方法，对图像评价结论的差异会很大。



# 8.2 多源图像融合评价方法研究

## 8.2.2 图像融合的定量评价指标

### 8.2.2.1 独立单因素评价指标

独立单因素评价指标是针对单一幅图像定义的评价指标，利用该类指标，通过分别计算各个传感器的图像的指标值和融合图像的指标值，来定量分析融合图像相对于原图像的变化。

由于此类评价指标的相对独立性，因此适用性最为宽泛，是图像评价体系中的基本方法。



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

### 1. 基于图像统计特性的评价指标

均值，其是图像像素的灰度平均值，对人眼反映为平均亮度。

$$\hat{u} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N F(i, j)$$

标准差，其反映了灰度相对于灰度均值的离散程度。标准差越大，则灰度级分布越分散。一般如果标准差较小时，可以采用取对数的方法将标准差放大。

$$std = \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (F(i, j) - \hat{u})^2 / M \times N}$$



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

### 2. 平均梯度

图像质量的改进可以用平均梯度表示，它反映了图像的清晰程度，同时还反映出图像中微小细节反差和纹理变换特征

$$\nabla \bar{G} = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [\Delta x f(i, j)^2 + \Delta y f(i, j)^2]^{1/2}$$

$\Delta x f(i, j)$   $\Delta y f(i, j)$  分别为像元在方向上的一阶差分



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

### 3. 熵

图像信息熵的含义为图像的平均信息量，信息量增加是图像融合最基本的要求，这可以通过融合前后图像信息熵的变化反映出来。对于一幅独立的图像，可以认为其各个元素的灰度值是相互独立的。

$$E = - \sum_{i=0}^L P(i) \log_2 P(i)$$

式中 $p(i)$ 为某灰度值在图像中出现的概率； $L$ 为图像的灰度等级，对于256灰度等级的图像。融合图像中的信息熵越大，说明图像中包含的信息越多，融合效果越好。



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

### 4. 边缘保持度(Edge Preservation, 简称为**EP**)客观评价指标

边缘保持度客观评价指标可衡量融合图像对输入图像中的边缘信息的保持程度。该方法在对输入图像和融合图像进行边缘提取的基础上, 计算边缘信息的保存量, 将加权的边缘信息保存量作为评价融合结果的衡量指标, 边缘保持度越大, 说明融合图像保留的边缘信息越多。



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

### 8.2.2.2 联合单因素评价指标

所谓的联合单因素评价指标是针对多源传感器融合图像而言，通常定义为各个传感器的原始图像与融合结果图像之间的所含信息量大小的评价指标。该类指标的计算通常必须具备原始图像和融合图像，或者理想图像。该类评价指标是多源图像融合评价体系中的核心方法。

包括：

#### 1. 基于图像统计特性的评价指标

偏差度 -- 反映融合后图像与原始图像在光谱信息上的匹配程度

$$D = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{|B(i, j) - F(i, j)|}{F(i, j)}$$



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

标准偏差（或称均方根误差），越小说明融合图像与理想图像越接近，也就是说融合效果越好。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_i(i, j) - I_f(i, j)]^2}{M \times N}}$$

平均误差

$$\Delta u = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |I_i(i, j) - I_f(i, j)|$$

协方差。协方差表征了图像灰度值变化的剧烈程度，协方差越大图像就越不平滑。

$$Var[I_{i,j}] = \hat{u}[(I_{i,j} - \hat{u}(I_{i,j}))^2] / \hat{u}^2[I_{i,j}]$$



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

### 2. 基于光谱信息的评价指标

光谱信息评价是对小波分解后的图像在水平、垂直、对角三个方向的空间分辨率的综合评价。其本质是利用融合图像对应的灰度的高频分量与高分辨率图像高频分量之间的相关程度来定义空间分辨率指标。

$$E_{sp} = \frac{\text{Corr}(f^a, f_H^a) + \text{Corr}(f^b, f_H^b) + \text{Corr}(f^c, f_H^c)}{3}$$

表示融合图像的低频分量、水平方向的高频分量、垂直方向( $f^a, f^b, f^c, f^d$ )和对角线方向的高频分量



# 8.2 多源图像融合评价方法研究

## 2. 基于图像信噪比的评价指标

信噪比

$$SNR = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (F(i, j))^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (R(i, j) - F(i, j))^2}$$

峰值信噪比

$$PSNR = 10 \lg \left| \frac{G_{\max}^2}{RMSE^2} \right| = 20 \lg \left| \frac{G_{\max}}{RMSE} \right|$$

感觉误差

$$PE = \left| \sum_{l=1}^k \sum_{o=LH, HL, HH} \sum_{m=1}^{N_l} \sum_{n=1}^{N_l} \left| \frac{E_o^l(m, n)}{\Delta C_o^l(m, n)} \right|^4 + \sum_{m=1}^{N_k} \sum_{n=1}^{N_k} \left| S_{LL}^K(m, n) - \hat{S}_{LL}^K(m, n) \right|^4 \right|^{1/4}$$

感觉信噪比

$$HVSNR = -10 \cdot \log_{10} MPE$$

$$MPE = \frac{PE}{\left| \sum_{l=1}^k \sum_{o=LH, HL, HH} \sum_{m=1}^{N_l} \sum_{n=1}^{N_l} |C_o^l(m, n)|^4 + \sum_{m=1}^{N_k} \sum_{n=1}^{N_k} |S_{LL}^K(m, n)|^4 \right|^{1/4}}$$



# 8.2 多源图像融合评价方法研究

## 4. 基于信息量的评价指标

交叉熵 
$$D(p, q) = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 \frac{p_i}{q_i}$$

互信息 
$$S_{mi}(i, j, k) = \sum_{i=0}^{L-1} \sum_{j=0}^{L-1} \sum_{k=0}^{L-1} P_{abf}(i, j, k) \log_2 \frac{P_{abf}(i, j, k)}{P_{ab}(i, j)P_f(k)}$$

$P_{abf}(i, j, k)$  为归一化联合直方图

$$MI_{AB/F} = MI_{AF} + MI_{BF}$$

$$MI_{AF} = \sum_{f=0}^L \sum_{a=0}^L p_{AF}(f, a) \cdot \text{lb}\left(\frac{p_{AF}(f, a)}{p_F(f) \cdot p_A(a)}\right) \quad MI_{BF} = \sum_{f=0}^L \sum_{b=0}^L p_{BF}(f, b) \cdot \text{lb}\left(\frac{p_{BF}(f, b)}{p_F(f) \cdot p_B(b)}\right)$$



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

偏差熵 
$$DC(p, q) = \sum_{i=1}^n p_i \log_2 [1 - (p_i - q_i)^2]$$

反映了两幅图像像素偏差的程度，同时也反映了两幅图像信息量的偏差度

联合熵 
$$G(R, F_1, F_2) = -\sum_{i=1}^n \log_2 (p_i \cdot q_i \cdot r_i)$$

可作为三幅图像之间相关性的度量，同时也反映了三幅图像之间的联合信息

### 5. 基于空间频率的评价指标

行频率

$$RF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [F(i, j) - F(i, j-1)]^2}$$

列频率

$$CF = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} [F(i, j) - F(i-1, j)]^2}$$

空间频率

$$SF = \sqrt{RF^2 + CF^2}$$



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

### 6. 相关系数

$$Corr = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_i(i, j) - \bar{I}_i(i, j)][I_f(i, j) - \bar{I}_f(i, j)]}{\sqrt{\left| \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_i(i, j) - \bar{I}_i(i, j)]^2 \times \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_f(i, j) - \bar{I}_f(i, j)]^2 \right|}}$$

### 7. 对比度变化

$$\text{对比度 } C = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_i(i, j) - \bar{I}(i, j)]^2}$$

$$\Delta C = C_i - C_f$$



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

### 8.2.2.3. 综合评价指标

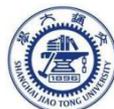
在智能图像处理系统中，利用非线性方法或者智能计算的方法将独立单因素指标和联合单因素指标综合起来的一种评价方法，其是一种更加重视主观与客观相结合的融合评价方法，是图像评价体系中的发展方法。

#### 1. 基于模糊积分的融合图像评价

该评价方法首先定义了融合图像在保留光谱信息和空间分辨率两个方面的评价指标，同时还包括了标准偏差、熵差等多因素，然后利用模糊积分进行综合评价，反应融合图像在保留光谱和空间分辨率两个方面的情况，其是带有某种主观因素的评价方法，比较符合人的主观感受

#### 2. 证据理论综合评价

考虑用D-S理论推广方法，将相关证据转化为相应的独立证据。关键是基础概率的选取。



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

### 3. 粗糙集理论的评价方法

主要思想是在保持信息系统分类能力不变的前提下，通过知识约减，导出问题的决策或分类规则。

### 4. 加权求和法综合评价

加权求和法提供的评价指标的变化是线性的，在粗略评价时不失是一种简单易行的方法。其中关键是各因素权重的确定。

### 5. 其它

如边缘特征评价方法，基于小波能量的评价方法等

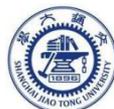


## 8.2 多源图像融合评价方法研究

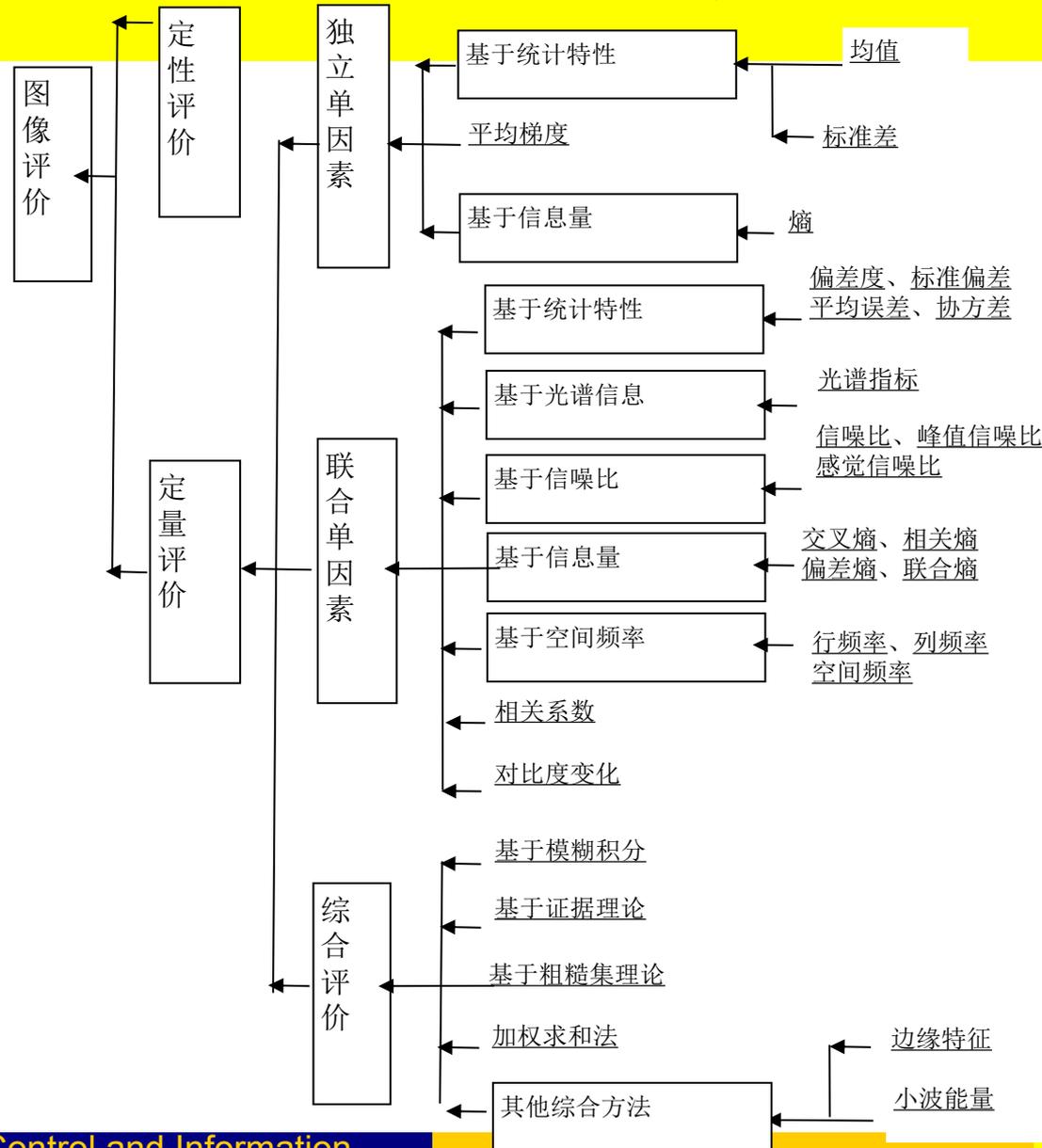
### 8.2.2.4. 图像融合评价平台的构建

在实际应用中，应重视主观与客观相结合的融合评价方法的研究，若能将一些先验知识引入到图像融合处理中，必将改善融合的性能，对融合效果的评价起到积极作用。

下图是基于图像融合理论框架，按照独立单因素指标、联合单因素指标和综合评价指标概念为主要核心建立的图像融合评价平台。该平台的建立，势必能够更加全面、客观的进行图像融合评价，将评价信息加入融合规则的选取和参数选取的选择过程中，从而可以更充分地利用信息提供的信息，实现具有反馈的图像融合过程，丰富和完善图像融合理论框架。



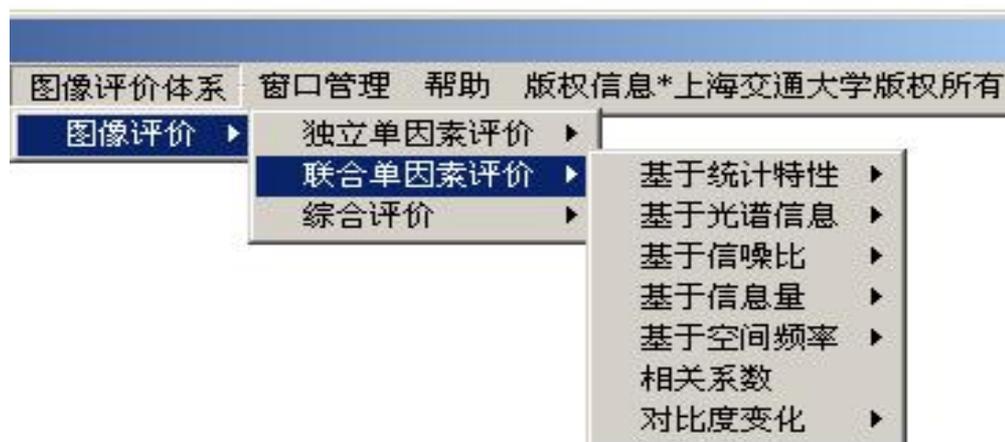
# 8.2 多源图像融合评价方法研究



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

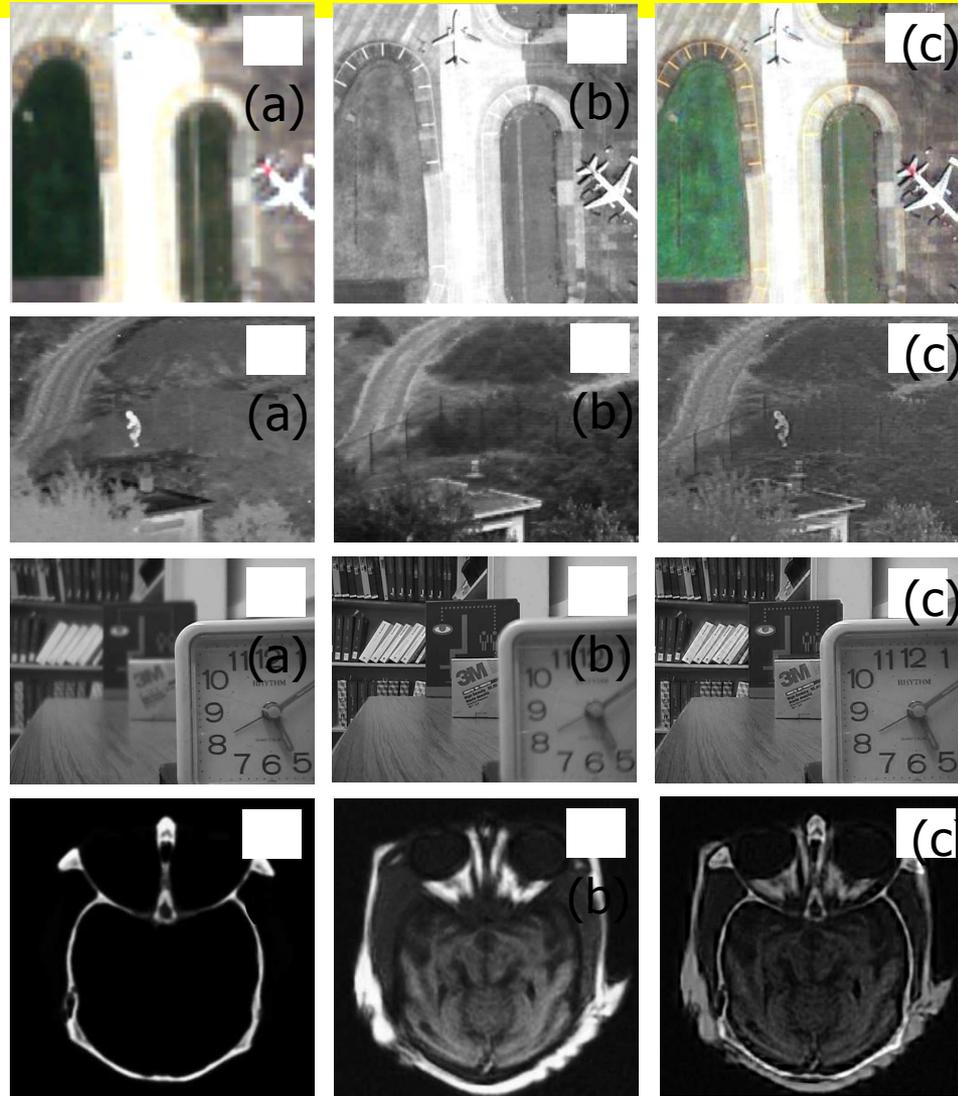
### 8.2.2.5. 基于ENVI/IDL平台的多传感器图像融合评价实验及其结果分析

ENVI/IDL是美国RSI（Research System Inc.）公司推出的专门用于图像处理与应用开发的综合平台。



# 8.2 多源图像融合评价方法研究

示例图像



## 8.2 多源图像融合评价方法研究

原始图像和融合图像		定量评价												
		独立单因素				联合单因素							综合评价	
		均值	标准差	平均梯度	熵	偏差度	光谱指标	信噪比	联合熵	空间频率	相关系数	对比度	模糊积分	加权求和
图 8.4		147.388	81.4156	3.60693	1.80580	0.4814	0.7856	0.8874	3.14646	8.5583	0.7956	0.3665	0.0004	0.7967
		168.427	52.7274	6.70331	1.91484	0.6279				17.626	0.6698			
		154.9431	69.0816	6.77440	2.00709	/				106.8796	/			
图 8.5		99.5024	27.5356	4.95024	2.01200	0.5584	0.6741	0.5474	3.77288	7.6969	0.4955	0.2141	0.5546	0.5389
		82.7643	38.4221	4.49775	2.12441	0.7412				10.7757	0.7753			
		91.1984	24.0113	5.92311	1.91242	/				9.4808	/			
图 8.6		99.3661	43.5807	3.30578	2.14311	0.4215	0.5141	0.4674	3.55883	7.539	0.9460	0.3614	0.5804	0.9865
		98.5346	46.3177	4.08062	2.18822	0.3742				14.5735	0.9833			
		98.8403	46.3072	4.69685	2.19998	/				15.4392	/			
图 8.7		10.1275	37.4487	1.24687	0.62037	0.5641	0.8741	0.6812	2.34746	11.3023	0.5990	0.4125	0.7893	0.7954
		55.2423	57.0369	4.02420	1.99731	0.6498				10.7757	0.7968			
		32.4453	38.9247	4.26684	1.86091	/				12.3460	/			



## 8.3 高光谱数据信噪比估算研究

### 8.3.1 高光谱数据信噪比估算研究的必要性

实用型成像光谱仪（**OMIS**）和推帚式超光谱成像仪（**PHI**）的用途十分广泛，各通道数据的信噪比是一个非常重要的评价量，而从图像本身来计算噪声是一种直接而有效的方法。

噪声视其与信号之间的相互关系可分为加性噪声与乘性噪声。加性噪声的大小和信号大小无关，而乘性噪声则正好相反。一般普遍认为成像光谱信号中的噪声是不相关的。



# 8.3 高光谱数据信噪比估算研究

## 8.3.2 信噪比估算方法

### 1 方差法

基于刚刚所提到的成像光谱仪图像主要都是加性噪声的思想，用图像中各波段总的方差，即与均值的偏离程度表示噪声的大小，均值与方差之比就是所求的信噪比。

这是一种最为简单的方法，但是计算速度慢，且只能得到一个大致结果，与图像的真实信噪比存在一定的差距。



# 8.3 高光谱数据信噪比估算研究

## 8.3.2 信噪比估算方法

### 2 求地学统计量法

主要用像素值在空间域即平面中的横轴或纵轴上的变化来度量噪声的大小。

### 3 局部方差法

把图像分割成 $4 \times 4$ 、 $5 \times 5$ 或 $8 \times 8$ 的小区域。分别计算这些区域内的方差作为噪声大小。然后从所有这些小区域中选择一个众数最大的区间作为整个图像的平均噪声值。



# 8.3 高光谱数据信噪比估算研究

## 8.3.2 信噪比估算方法

### 4 去相关法

成像光谱仪是一个非常复杂的系统，在信号中引入噪声的因素很多。直接从噪声特性着手要估计噪声的大小有相当的难度。另一方面，成像光谱仪高空间分辨率和高光谱分辨率的特性，加上地物的连续性，使得成像光谱数据在空间和光谱维上均具有很高程度的相关性，尤其是光谱维。去相关的方法则是利用这一点，将原始数据中，这种具有高相关性的信号去掉，余下的当然是噪声了。



## 8.3 高光谱数据信噪比估算研究

### 8.3.2 信噪比估算方法

#### 5 空间域去相关法

由于去相关法需要用到影像连续波段的信息值，在程序的实现中给计算机的计算带来了很大的困难，因为整个影像的计算量太大，计算机时常会瘫痪。

成像光谱仪的数据不仅在光谱维，在相邻像素之间的信息值也存在着很大的相关性，这里使用相邻像素值来代替相邻波段值，这样计算量就会呈几何级数降低。

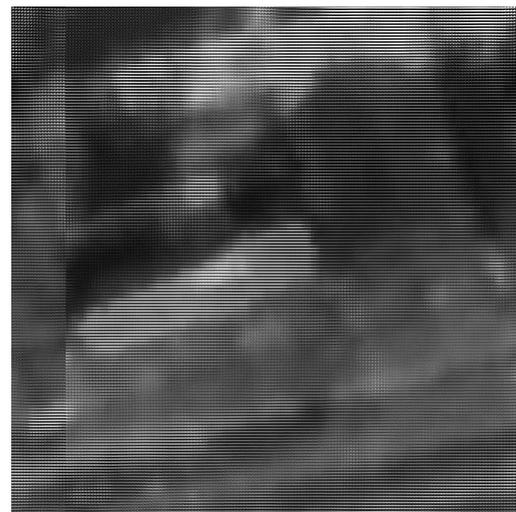


# 8.3 高光谱数据信噪比估算研究

## 8.3.2 信噪比估算方法

### 结果分析

采用“数字上海”中HIS的第28波段来进行计算和比较



方 法	运行时间	方 法	运行时间
经典去相关法	25sec	空间域去相关法	<1sec

方 法	方差法	局部方差法	求地学统计量法	去相关法	空间域去相关法
SNR					
信 噪 比	2.4859290	39.140463	62.378612	56.884111	34.721166



## 8.3 高光谱数据信噪比估算研究

- (1) 方差法是从整幅图像着手，由原始图像可以看出拍摄对象本身的灰度值相差就很大，不能满足均匀图像的条件。
- (2) 求地学平均法是将所有列的信噪比算平均值来计算求取的，但是从整幅图像来看除了前列比较均匀以外，区域目标的变化还是相当明显的
- (3) 局部方差法是方差法的一种改进，这种方法受目标区域的影响非常明显，各小区域的信噪比的大小相差非常悬殊，仍然存在它的不稳定性，健壮性较差。
- (4) 去相关法得到的结果可能是最接近真实值的



# 8.3 高光谱数据信噪比估算研究

方法 特性	对计算区域的要求	算法自动化程度	地物目标对结果的影响	计算速度
方差法	要求计算区域均匀	要选定均匀区域	受地物目标、计算区域均匀程度的影响较大	快
求地学统计量法	要求计算的扫描行或列均匀	要选定均匀的扫描行或列	受地物目标、计算区域均匀程度的影响较大	最快
局部方差法	要求计算区域的子区域均匀	全自动	受地物目标、计算区域的子区域的均匀程度的影响	较快
去相关法	无要求	全自动	基本不受地物目标、区域均匀程度的影响，稳定可靠性好	较慢
空间域去相关法	无要求	全自动	基本不受地物目标、区域均匀程度的影响，稳定可靠性较好	快



- Thanks!
- Questions?

