

# 遥感图像与视频处理技术

---

计算机学院  
郑锦



- 
- 课件邮箱: [rsprocessing@126.com](mailto:rsprocessing@126.com)
  - 密码: **1234567a**

# 第二讲：融合

---

一

融合发展概述

二

遥感图像融合意义

三

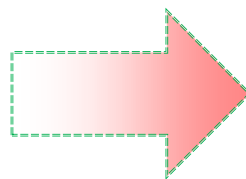
融合方法与分类

四

融合效果评价

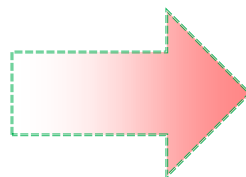
# 1 遥感图像融合的背景

天宫



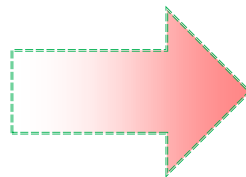
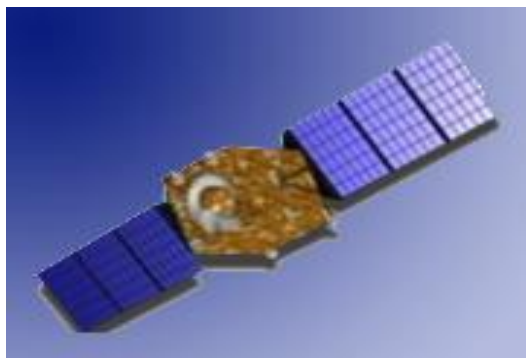
- 全色图像
- 高光谱图像
- 红外图像
- 多光谱图像

高分二号



- 全色图像
- 多光谱图像

侦察卫星



- 全色图像
- 高光谱图像
- 红外图像

## 2 相关概念

- **数据融合** ( Fusion, Merge) 指同一区域内遥感数据之间或遥感数据与非遥感数据之间的匹配融合
- **多源遥感数据融合** 是指利用 **多种** 对地观测 **技术** 所获取的关于 **同一地物的不同遥感数据**，通过一定的数据处理技术提取各遥感数据源的有用信息，最后将其 **融合到统一的空间坐标系** (或特征空间) 中进行综合判读或进一步的解析处理
- **图像融合** 是一个对多传感器的图像数据和其他信息的处理过程。将 **空间** 和 **时间** 上 **冗余** 或 **互补** 的多源数据，按照一定的规则进行运算处理，获得比任何单一数据更精确、更丰富的信息，生成具有新空间、波谱、时间特征的合成图像

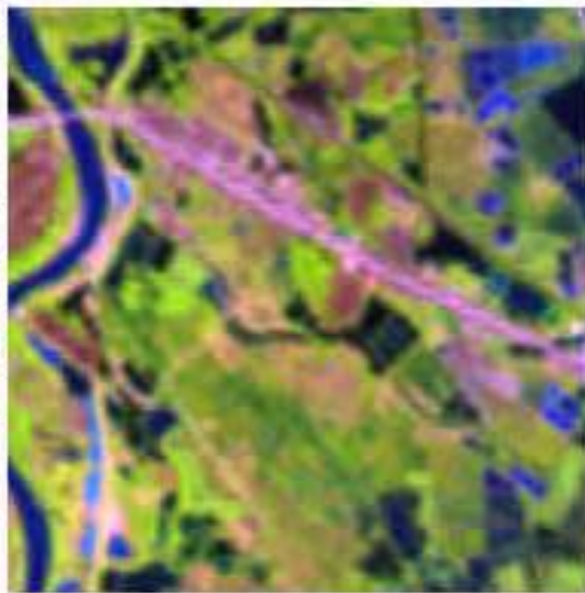


## 2 相关概念

**多源遥感数据融合**是指利用**多种**对地观测**技术**所获取的关于**同一地物的不同遥感数据**，通过一定的数据处理技术提取各遥感数据源的有用信息，最后将其**融合到统一的空间坐标系** (或特征空间) 中进行综合判读或进一步的解析处理



全色影像



多光谱影像



融合后影像

## 2 相关概念

□ **图像融合**是一个对多传感器的图像数据和其他信息的处理过程。将**空间**和**时间**上**冗余**或**互补**的多源数据，按照一定的规则进行运算处理，获得比任何单一数据更精确、更丰富的信息，生成具有新空间、波谱、时间特征的合成图像

美国Sarnoff  
公司视频监  
控系统



SWIR: 全称为short-wave (length) infrared (band) —短波红外  
长波红外 (LWIR)  
近红外可见光NVIR

### 3 融合的发展

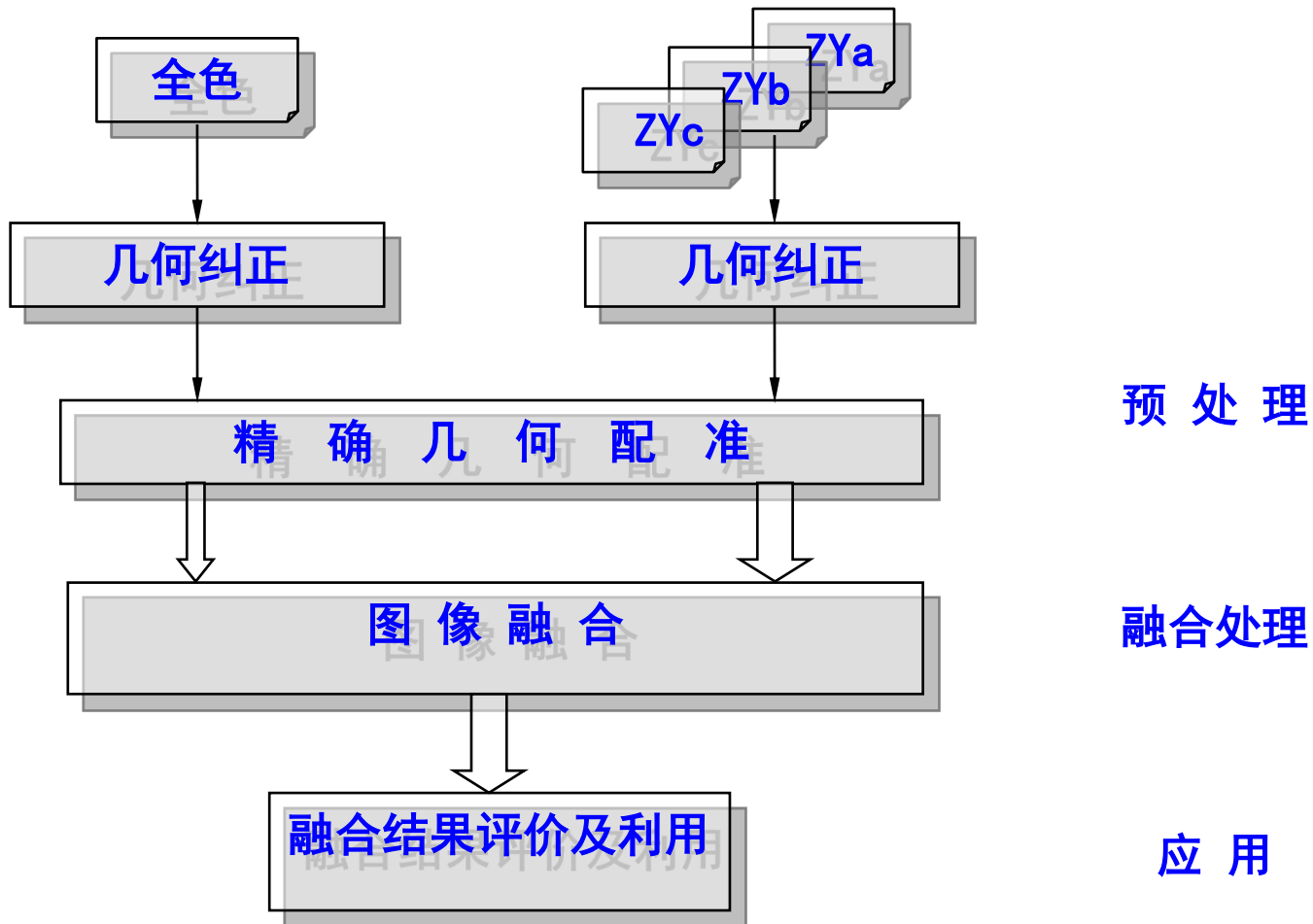
- 随着遥感技术的发展，越来越多的不同类型遥感器被用于对地观测。这些多遥感器、多时相、多分辨率、多波段的遥感图像数据，各自显示了自身的优势和局限。为了更充分运用这些数据资源，融合技术应运而生。
- 数据融合的概念始于70年代。20世纪90年代以后，随着多种遥感卫星的发射成功，从不同遥感平台获得的不同空间分辨率和时间分辨率的遥感影像形成了多级分辨率的影像金字塔序列，给遥感用户提供了从粗到精、从多光谱到高光谱的多种遥感数据源。融合的发展在一定程度上解决了多种数据源综合分析的问题。



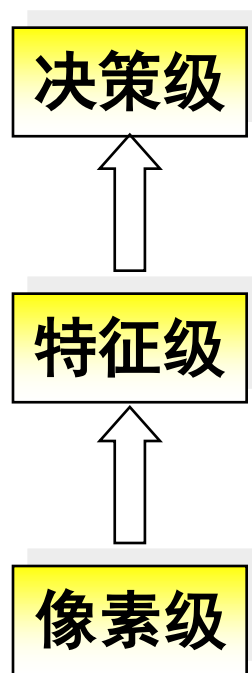
### 3 融合的发展

- 起初是进行同种遥感数据多波段、多时相的数据融合
- 后来发展到不同类型遥感数据的融合，如陆地卫星与气象卫星，以及陆地卫星MSS与海洋卫星侧视雷达SAR等，以扩大应用范围，提高分析精度，获得更好的遥感应用效果。
- 当前，人们越来越感到由于遥感本身及实际应用中的局限性，要真正认识事物，并非遥感独家所能完成，需要其它学科的支持，只有遥感与非遥感数据的融合，如与气象、水文数据，与重力、磁力等地球物理增息，与地球化学勘探数据，与专题地图数据，以及与数字地形模型（DTM）等数据融合，进行综合分析，才能更好地发挥作用。

## 4 融合基本流程



## 4 融合的层次



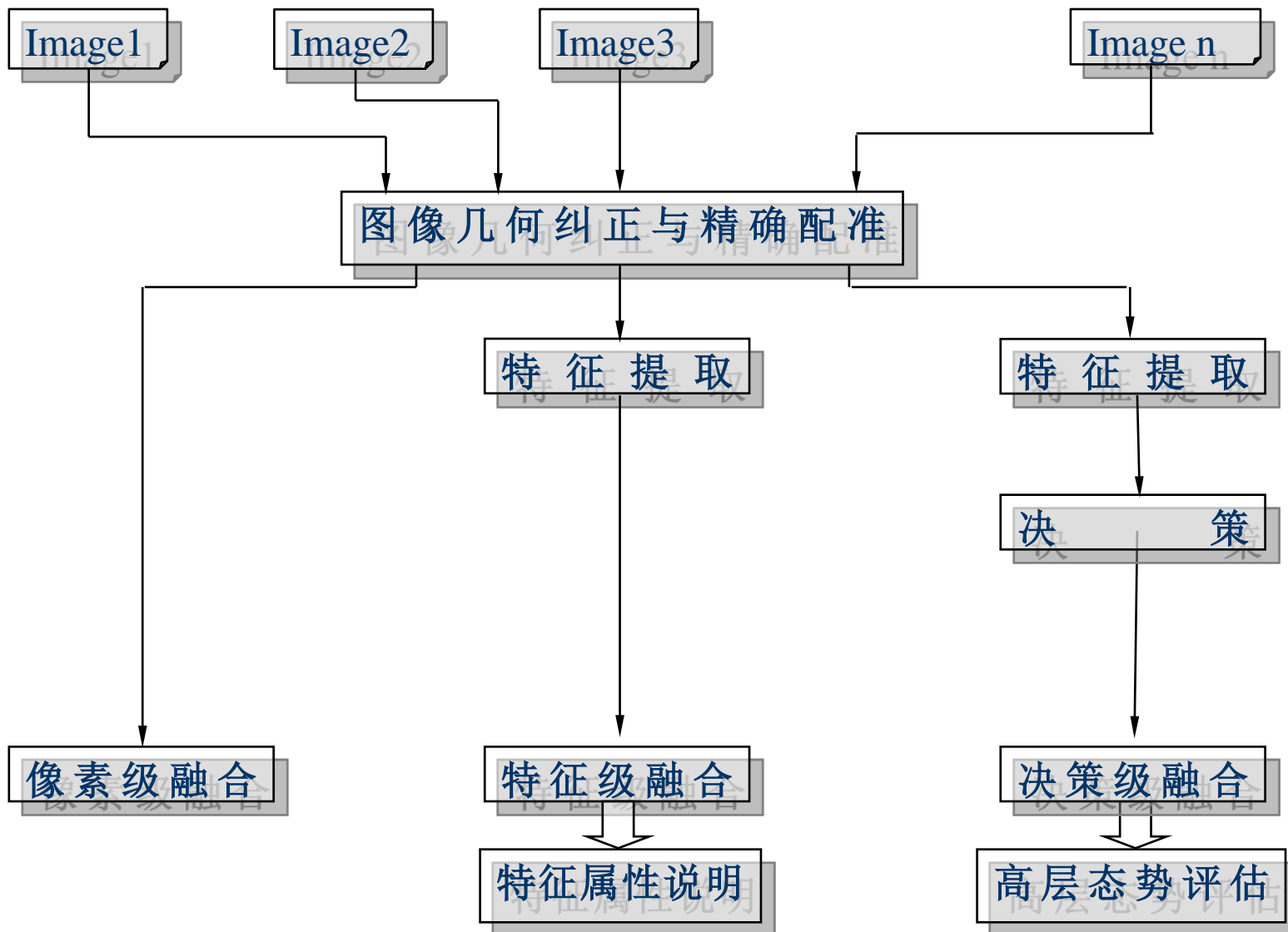
- ❑ 像元级: 线性加权法、IHS变换、PCA变换、高通滤波法、小波变换融合算法等。
- ❑ 特征级: Dempster-shafer推理法; 聚类分析法; 贝叶斯估计法; 熵法; 带权平均法; 表决法及神经网络法等。
- ❑ 决策级: 贝叶斯估计法; 专家系统; 神经网络法; 模糊集理论; 可靠性理论以及逻辑模板法等。

## 4 融合的层次

例如：加权运算是将待融合的两幅图像视为两个二维矩阵，计算两幅图像的相关系数，如果相关系数较大，则进行融合运算，将两图像上空间位置对应的像素值，进行加权相加，加权之和作为新图像在该空间位置上的像素值。



## 4 融合的层次

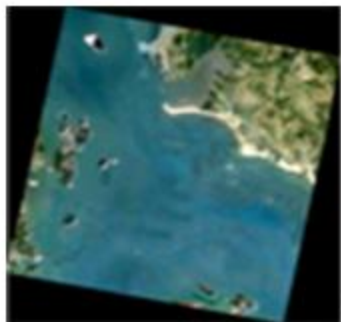


## 5 融合的技术关键

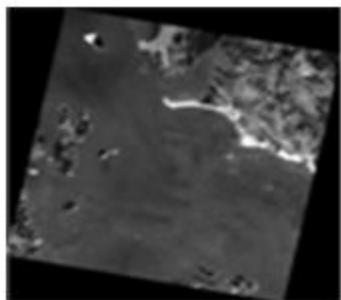
- ❑ 充分认识研究对象的地学规律
- ❑ 充分了解每种融合数据的特点和适用性
- ❑ 充分考虑到不同遥感数据之间波谱数据的相关性引起的有用数据的增加以及噪声误差的增加，因此对多种遥感数据作出合理的选择
- ❑ 几何配准是难题，即解决遥感图像的几何畸变，解决空间配准问题
- ❑ 只有对地学规律、影像特征、成像机理三者有深刻的认识，并把它们有机地结合起来，数据融合才能达到更好地效果



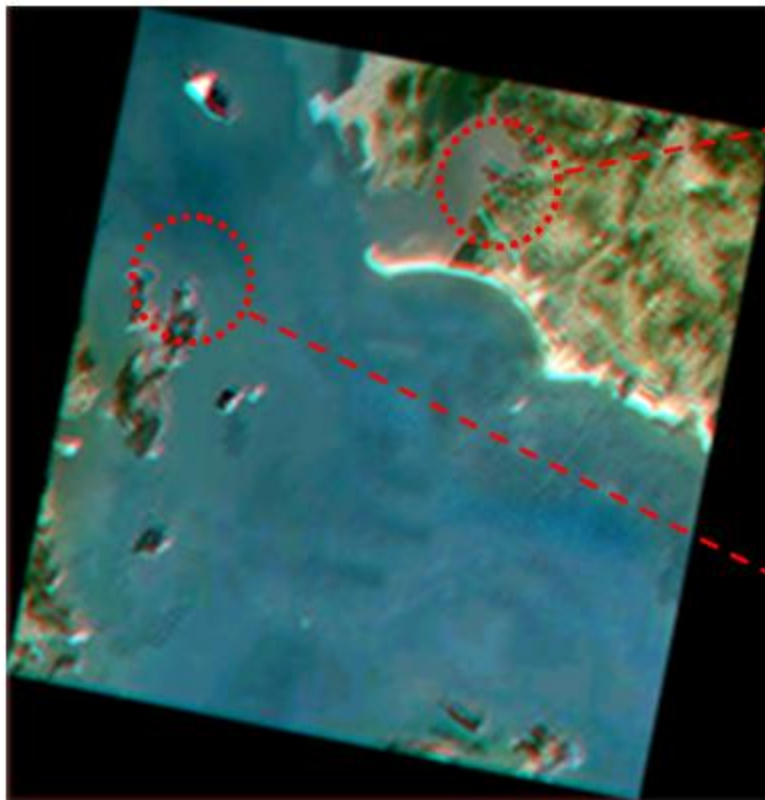
## 5 融合的技术关键



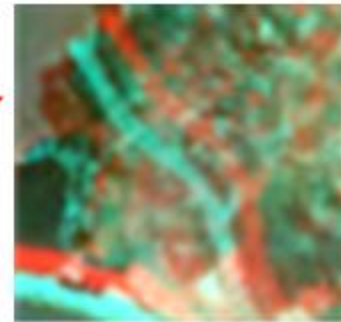
(a) GF2 多光谱图像



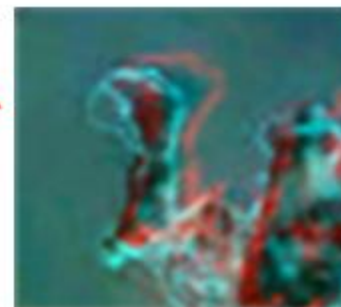
(b) GF2 全色图像



(c) 假彩色图像



(d) 山区区域畸变



(e) 海岛区域畸变

几何畸变

# 第二讲：融合

---

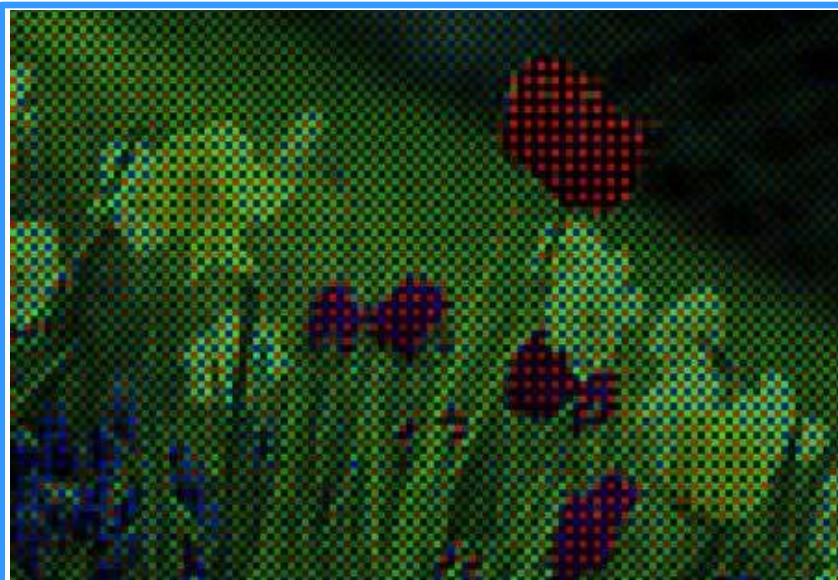
一 融合发展概述

二 遥感图像融合意义

三 融合方法与分类

四 融合效果评价

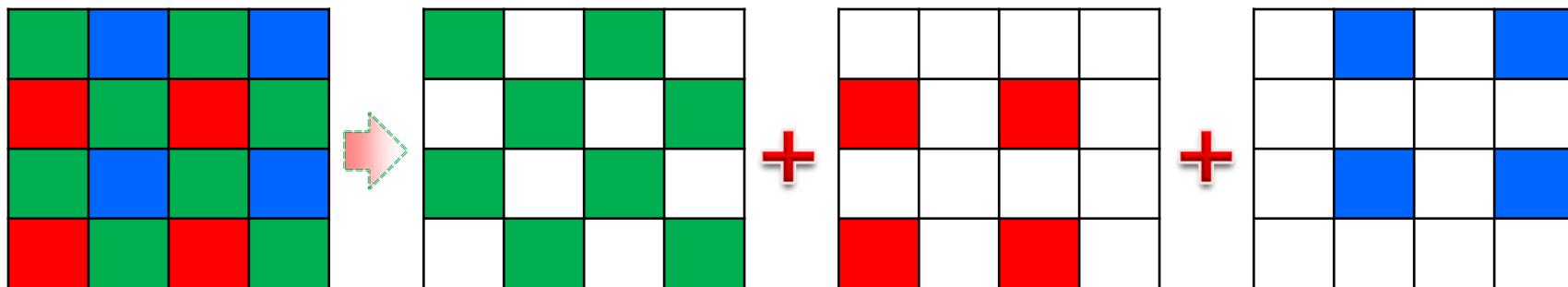
# 1 普通数码相机成像——拜尔滤光法



相机原始数据(映射至RGB空间)



拜尔滤波输出的照片



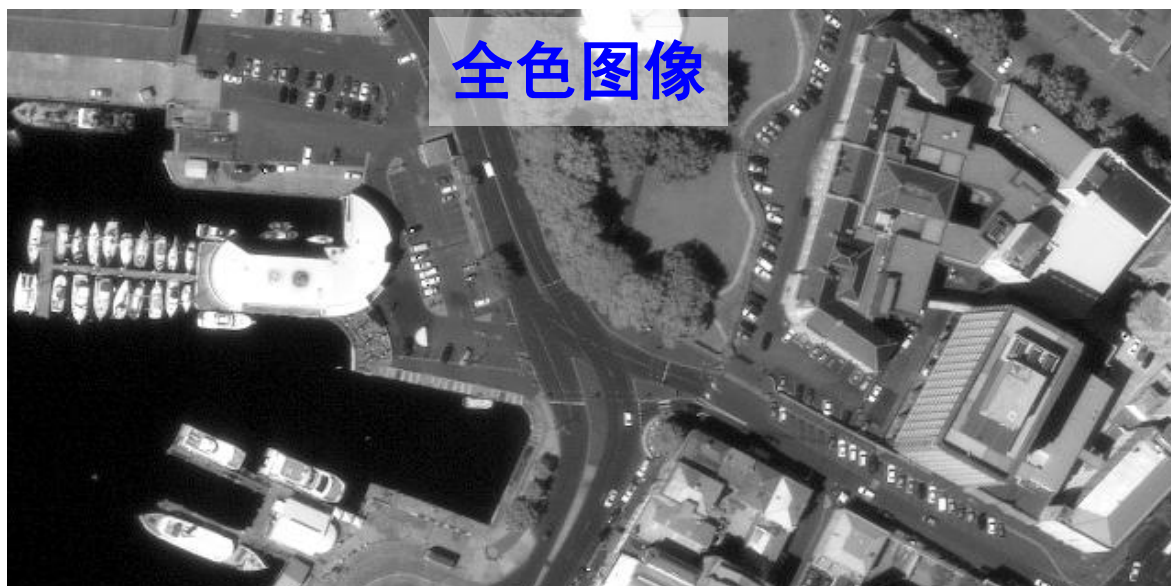
拜尔滤光法—滤光片排列方式  
( 50%是绿色, 25%是红色, 另外25%是蓝色)

## 2 多光谱卫星成像特点

□ 相机输出数的两部分数据**空间分辨率差异大**

■ 全色图像—空间分辨率**高** ■ 多光谱图像—空间分辨率**低**

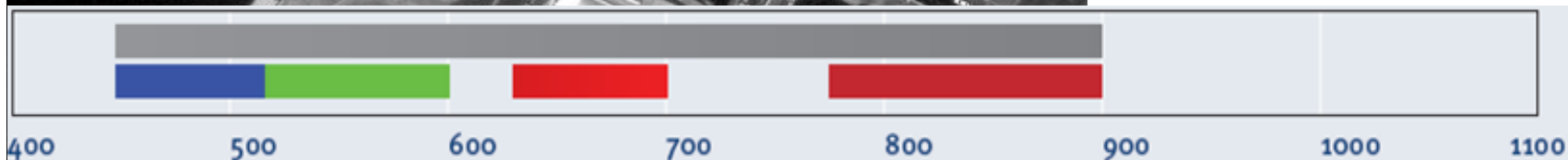
■ 全色与多光谱图像分辨率之比通常为**4:1**或**3:1**



+



多光谱图像



各波段光谱响应范围



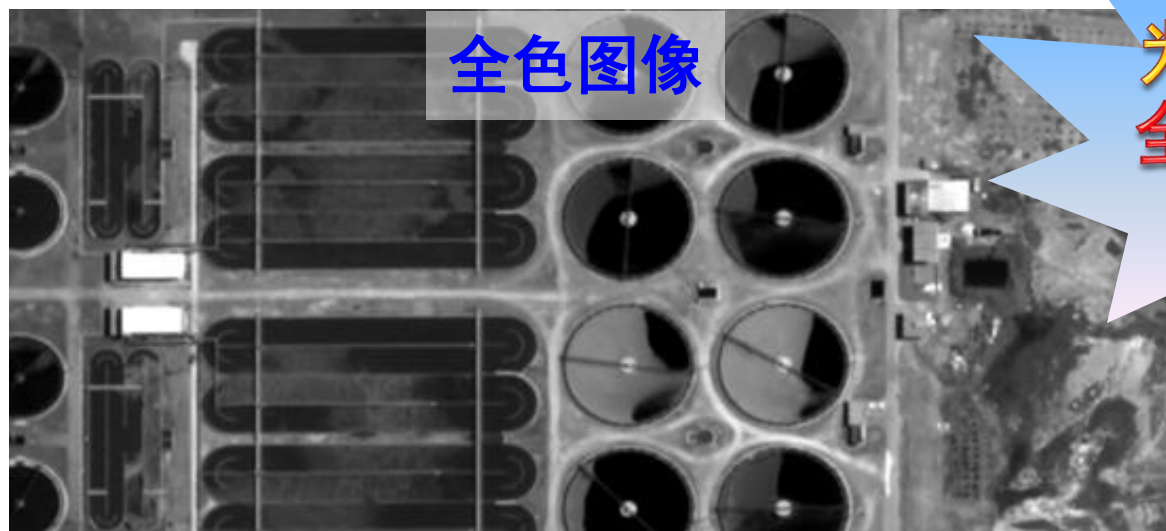
### 3 高光谱卫星成像特点

□ 相机输出数的两部分数据**空间分辨率差异更大**

■ 全色图像—空间分辨率**高** ■ 高光谱图像—空间分辨率**很低**

■ 全色与高光谱图像分辨率之比通常大于**10**：

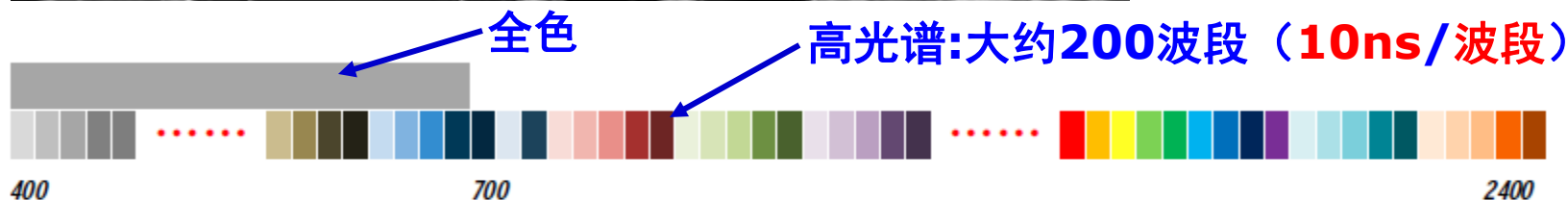
为什么采用高分  
全色+低分多/高  
光谱方式成像



+

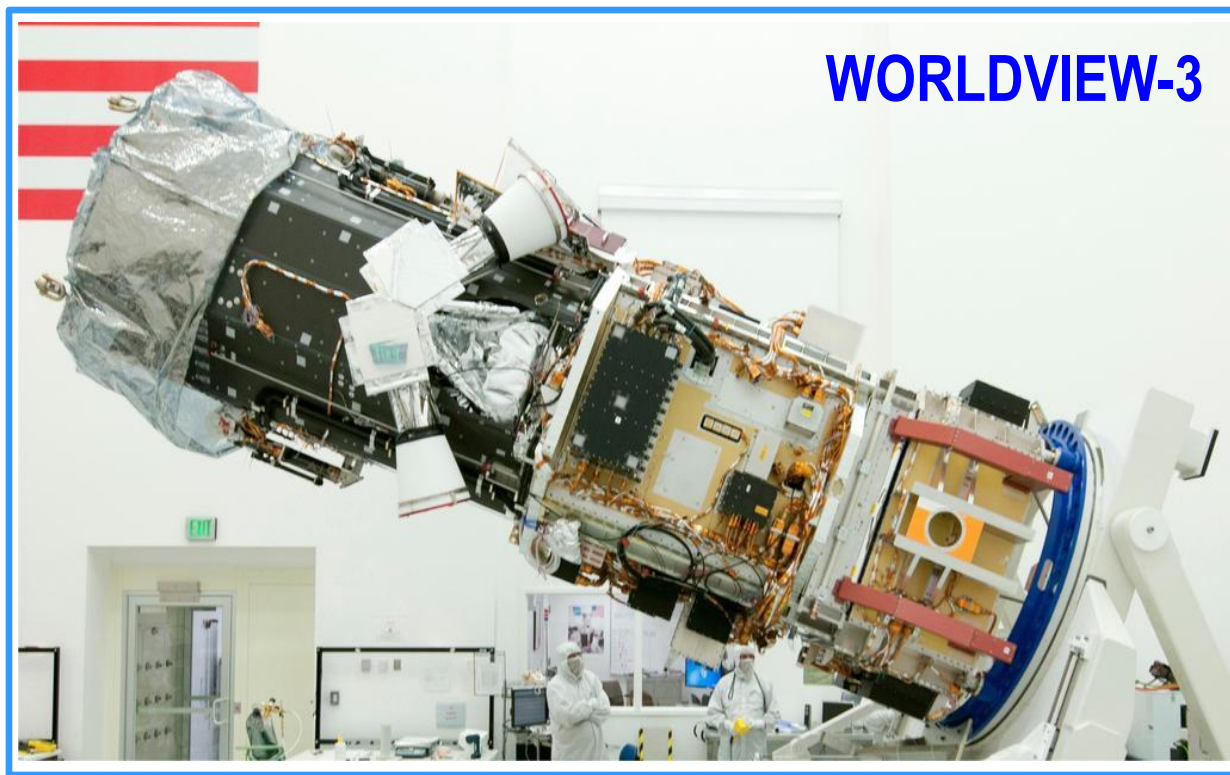


高光谱图像



各波段光谱响应范围

## 4 融合的根本原因——提高相机成像空间分辨率



WORLDVIEW-3

将光信号转换为电信号



CCD线阵

□ CCD是将光信号转换为电信号的核心器件

- 全色图像→全色CCD探元线阵
- 多光谱图像通常有R, G, B, NIR四个波段, 因此有R, G, B, NIR四个CCD探元线阵

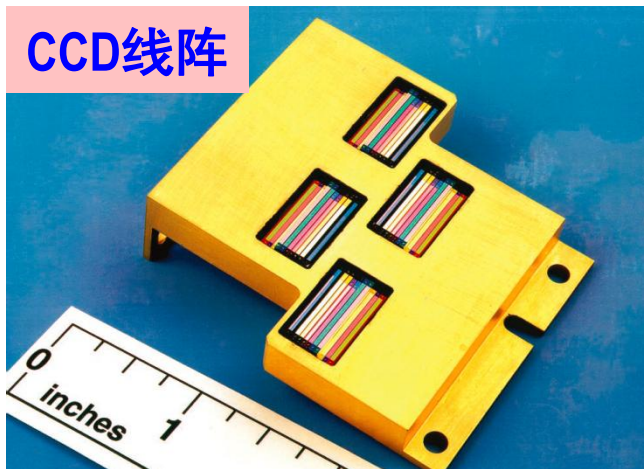




## 4 融合的根本原因——提高相机成像空间分辨率

**多光谱探元：**光谱响应范围比全色探元小，大尺寸探元方可获取足够光能，因此地表采样间距大，分辨率低

CCD线阵



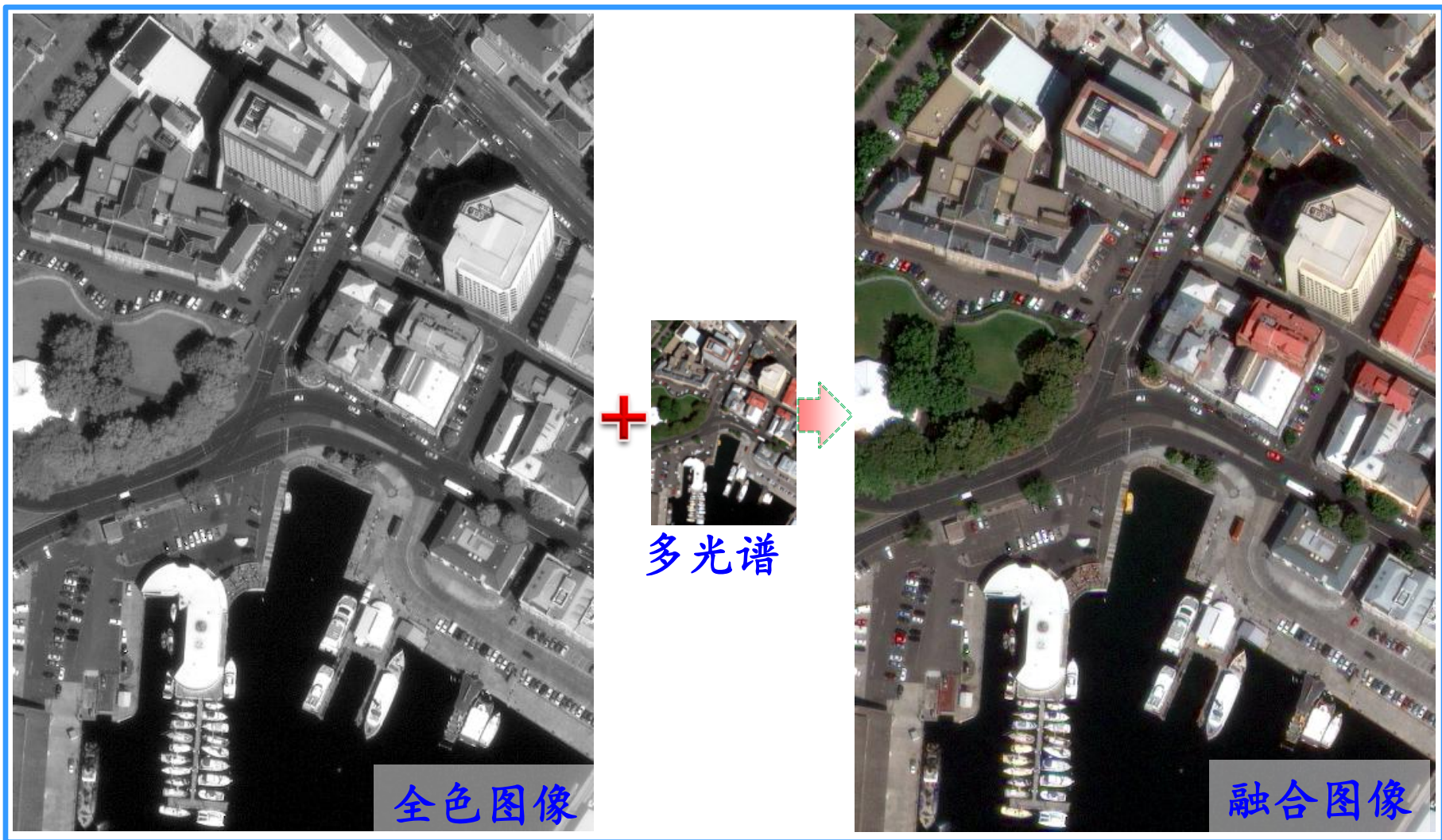
**全色探元：**光谱响应范围大，大约450~900nm，小尺寸探元可获取足够光能，因此地表采样间距小，分辨率高

多光谱某波段CCD线阵示意图

利用全色图像  
锐化多光谱图像

全色CCD线阵示意图

## 5 融合的根本原因——提高相机成像空间分辨率



全色与多光谱图像融合是提高相机成像分辨率的重要途径

# 第二讲：融合

---

一 融合发展概述

二 遥感图像融合意义

三 融合方法与分类

四 融合效果评价

# 1 高保真融合三要素

- ❑ 像素级融合是最低层的图像融合，它将配准的图像多源影像数据按照一定的融合原则，进行像素的合成，生成一幅新的影像。融合的目的是为了提高图像质量，提供良好的地物细节信息，直接服务于目视解译，自动分类。全色与多光谱/高光谱影像融合一般应满足以下条件：
  - ❑ 融合影像**空间特性**与全色影像尽可能保持一致；
  - ❑ 融合影像的**光谱特性**与多光谱影像尽可能保持一致；
  - ❑ 融合影像的空间分辨率被**下采样至低分辨率时**，必须和原始影像保持一致。

## 2 融合方法分类

类别	子类别	典型方法
加性 变换	分量替换法 (矩阵变换法)	基于IHS变换的融合方法
		基于PCA变换的融合方法
		基于GS变换的融合方法
	频域分解法	基于高通滤波的融合方法
		基于小波(Wavelet)变换的融合方法
		基于轮廓波(Contourlet)变换的融合方法
乘性 变换	Brovey变换融合方法（比值变换）	
	SVR(Synthetic Variable Ratio)变换融合方法	
	SFIM变换融合方法（亮度平滑滤波变换Smoothing Filter-based Intensity Modulation）	



### 3 分量替换融合法

#### 分量变换矩阵

$$\begin{bmatrix} I_{i,j}^1 \\ I_{i,j}^2 \\ \vdots \\ I_{i,j}^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1S} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2S} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \phi_{S1} & \phi_{S2} & \cdots & \phi_{SS} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{i,j}^1 \\ b_{i,j}^2 \\ \vdots \\ b_{i,j}^S \end{bmatrix}$$

多光谱像素  $(i, j)$  的像素值

**正向变换**: 将多光谱图像像素值转换至另一个特征空间

- IHS变换 → IHS色彩空间
- PCA变换 → 成分分析空间
- GS变换 → 正交向量空间

#### 全色图像替换第一特征分量 $I^1$

$$\begin{bmatrix} F_{i,j}^1 \\ F_{i,j}^s \\ \vdots \\ F_{i,j}^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1S} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2S} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \phi_{S1} & \phi_{S2} & \cdots & \phi_{SS} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Pan \\ I_{i,j}^2 \\ \vdots \\ I_{i,j}^S \end{bmatrix}$$

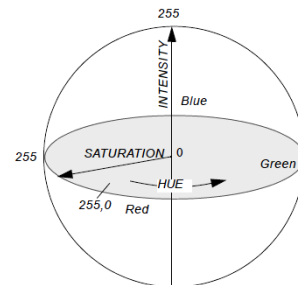
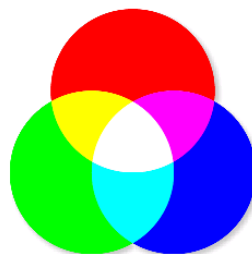
**逆向变换**: 利用全色图像替换第一特征分量, 并由特征空间反向变换至像素值空间, 得到融合图像



### 3 分量替换融合法—IHS变换融合

- IHS模型是重要的一种彩色系统，其3个分量具有相对独立性，可分别对它们进行处理。

- 彩色空间：RGB空间、IHS空间

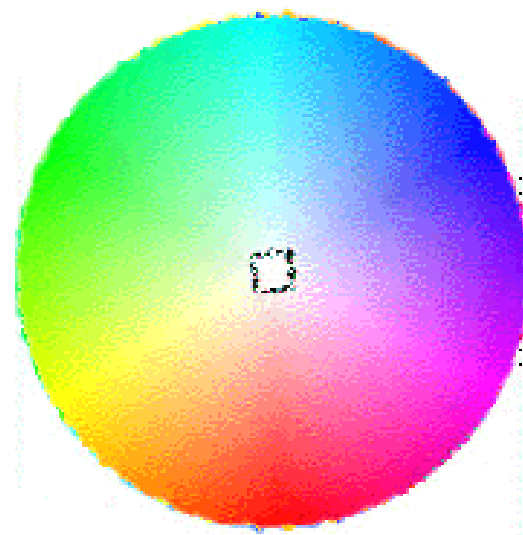
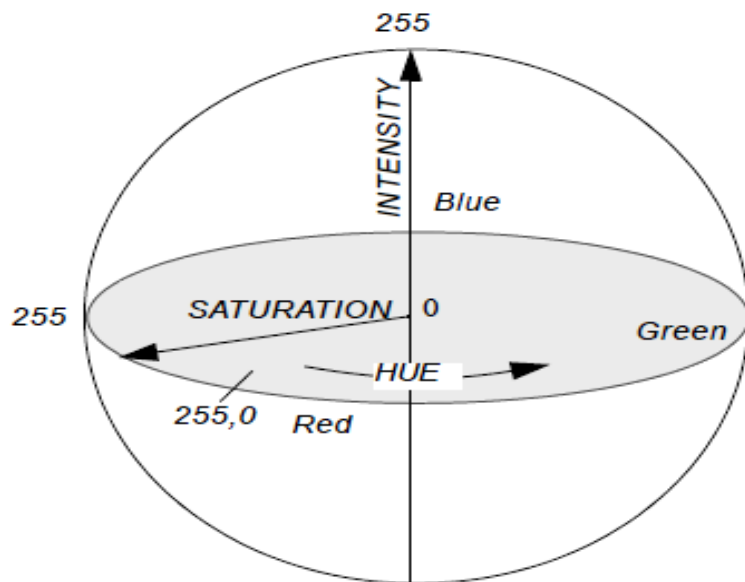


RGB彩色坐标系统是由红（R）、绿（G）、蓝（B）三原色组成的彩色空间。面向硬件，绝大部分的监视器都采用这种彩色模型，对应于监视器的3个刺激值，其他彩色系统必须转化成RGB系统才能在彩色显示器上显示。因此，RGB系统在显示方面基于具有优势。

IHS彩色坐标系统是根据视觉原理定义的3个互不相关的颜色属性：亮度（I）、色调（H）和饱和度（S），其中，H是表面呈现近似红、黄、绿、蓝等颜色的一种或几种的目视感知属性；S是颜色具有“白光”的程度；I是物体表面相对明暗特性。I、H、S3个分量具有相对独立性，可分别进行处理，能够定量地描述颜色特征。IHS系统在定量计算方面具有优势。

# 亮度-色度-饱和度色彩坐标系

- 垂直坐标轴代表亮度
- 圆周代表色度，色度值从红色中点处的0开始，沿着球体圆周的逆时针方向增加
- 饱和度描述了色彩的纯度



### 3 分量替换融合法—IHS变换融合

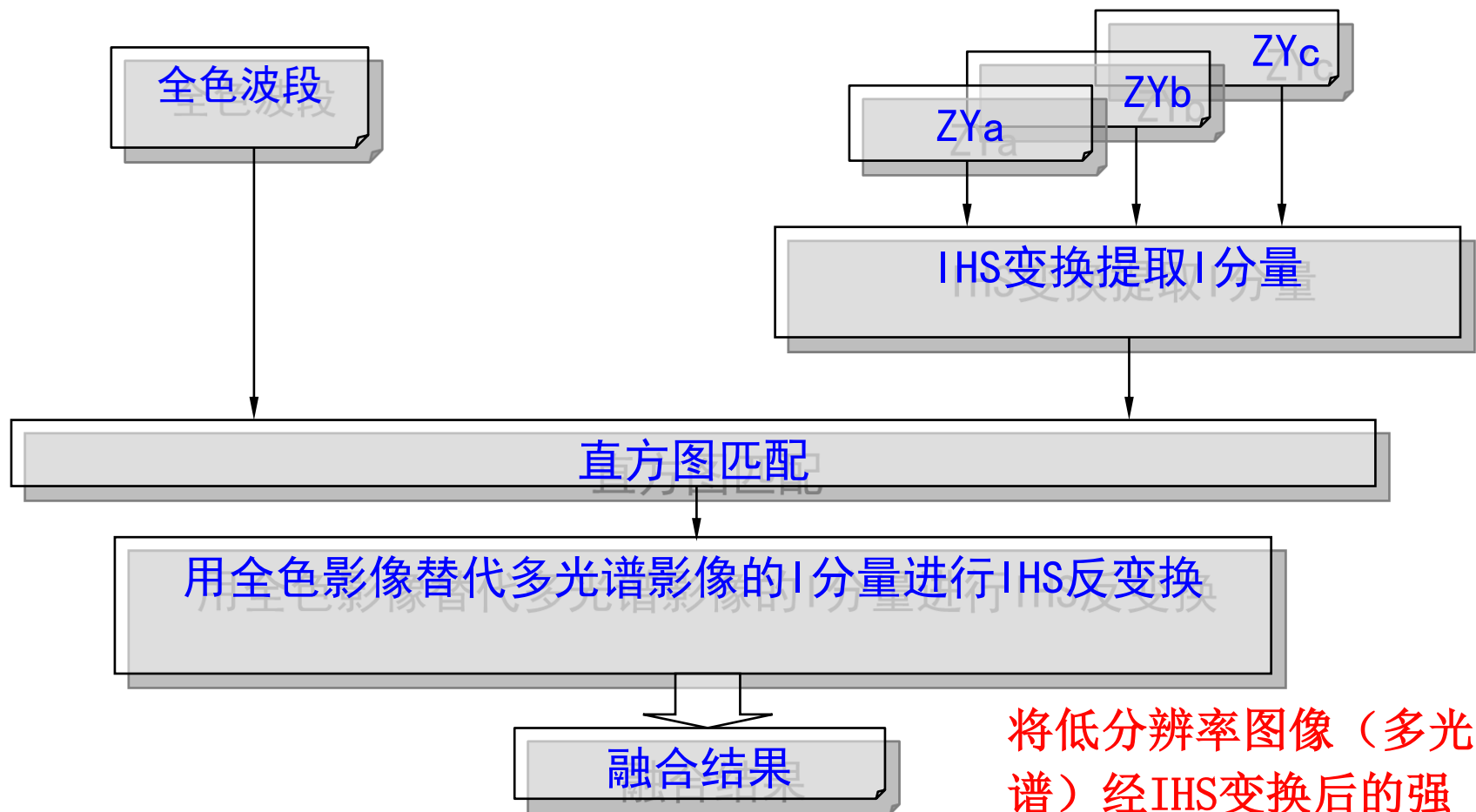
- 下面介绍RGB系统与IHS三角形系统之间的彩色变换。
- 正变换公式：

$$\begin{pmatrix} I \\ v_1 \\ v_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{-1}{\sqrt{6}} & \frac{-1}{\sqrt{6}} & \frac{2}{\sqrt{6}} \\ \frac{1}{\sqrt{6}} & \frac{-1}{\sqrt{6}} & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix}$$

$$H = \tan^{-1} \left( \frac{v_2}{v_1} \right)$$

$$S = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$$

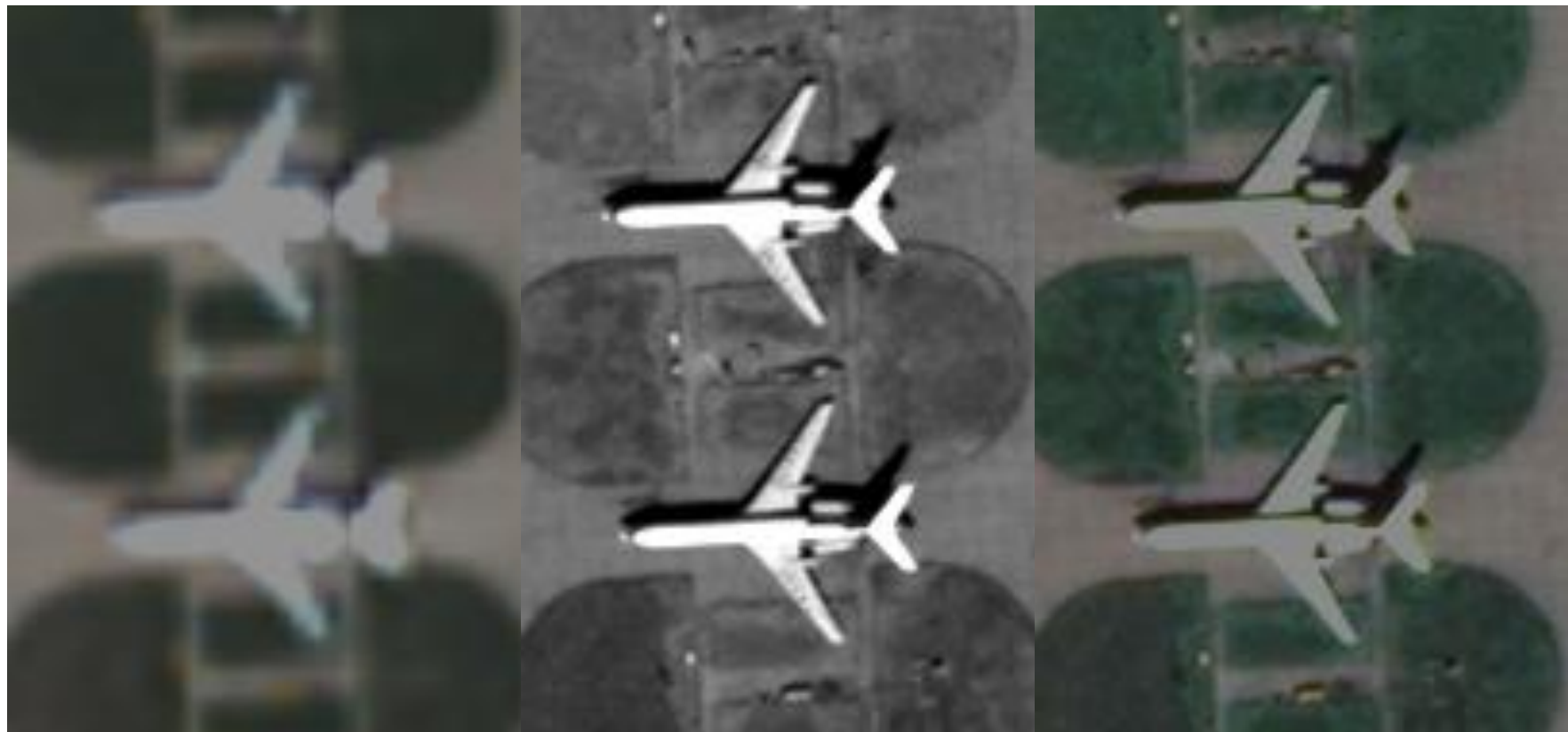
### 3 分量替换融合法—IHS变换融合



基于IHS的融合流程

将低分辨率图像（多光谱）经IHS变换后的强度分量I，用高分分辨率图像（全色）来替代

### 3 分量替换融合法—IHS变换融合

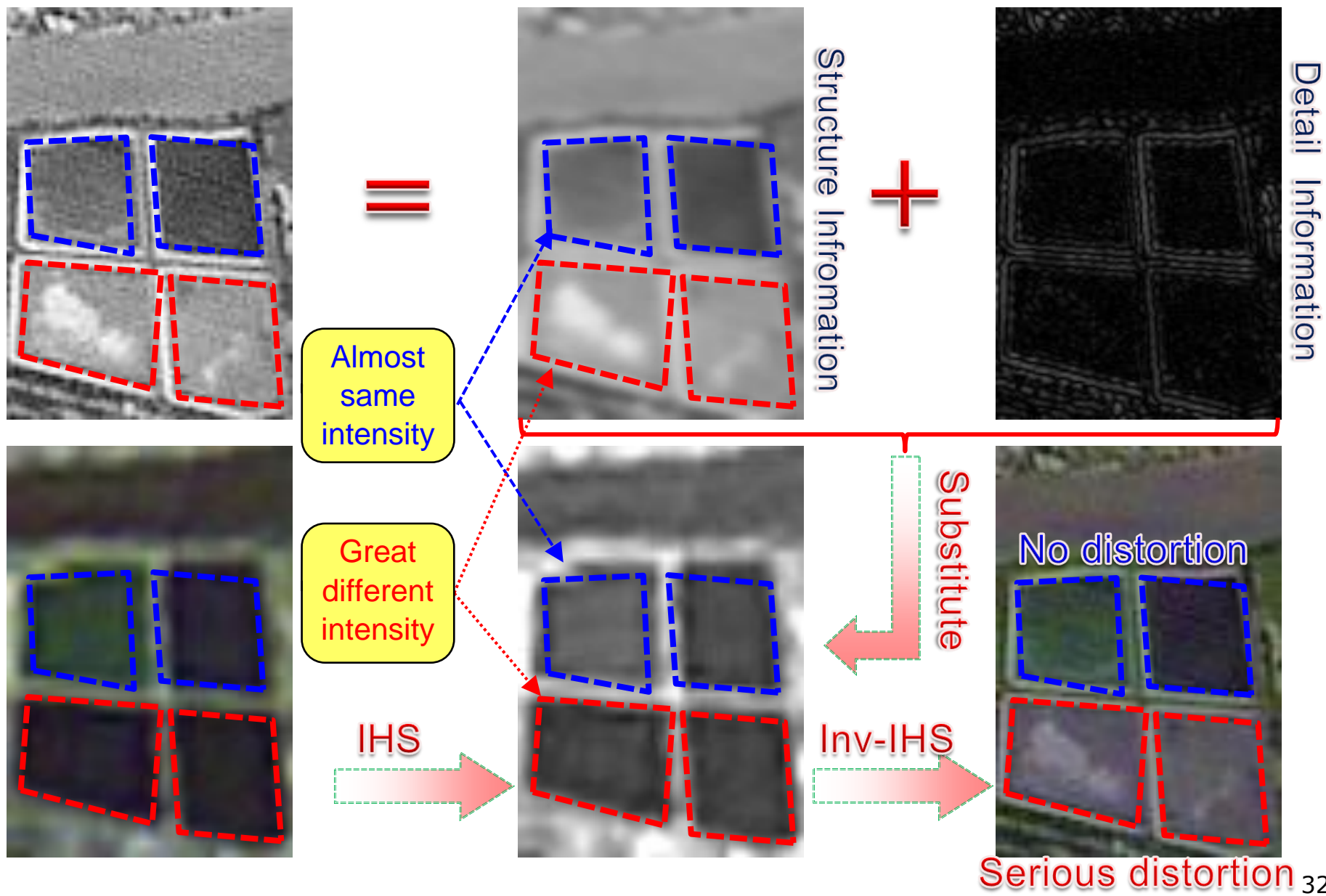


多光谱

全色

融合

### 3 分量替换融合法—存在的问题





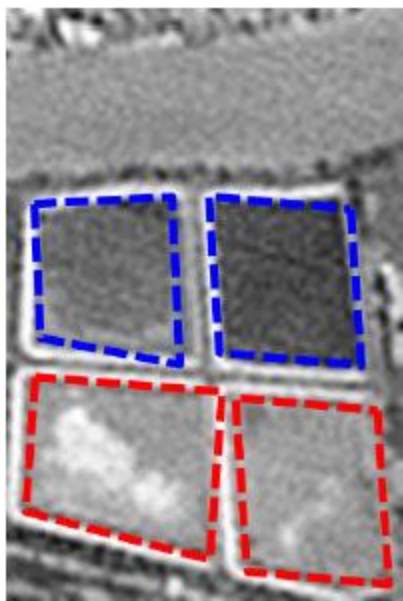
### 3 分量替换融合法—问题分析

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Pan} \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}$$

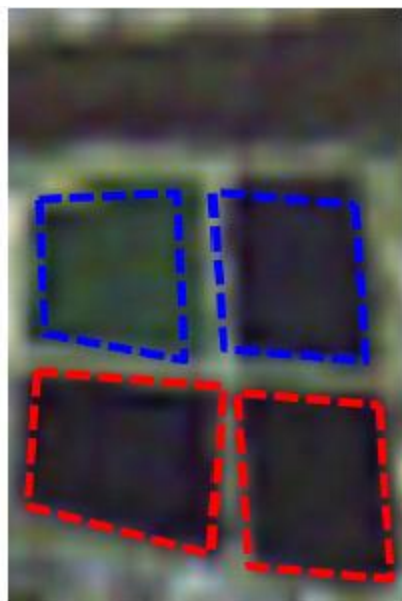
$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I + (\text{Pan} - I) \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I + \delta \\ v_1 \\ v_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{\text{res}} + \delta \\ G_{\text{res}} + \delta \\ B_{\text{res}} + \delta \end{bmatrix}$$

融合后影像颜色值取决于全色影像与IHS变换后的I影像之差

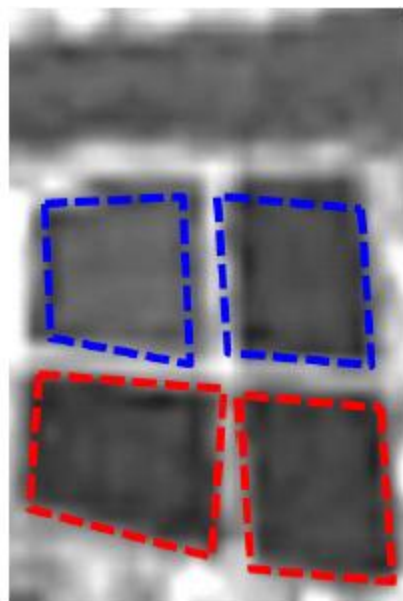
### 3 分量替换融合法—问题分析



全色



多光谱



I分量



融合

融合后影像颜色值取决于全色影像与IHS变换后的I影像之差

### 3 分量替换融合法—新视角

- 人类视觉系统(HVS)的分辨率有限
- 人类视觉系统对色度信号的敏感程度低于亮度信号



图(a)



图(b)

图(b)的色度分辨率只有图(a)的四分之一！

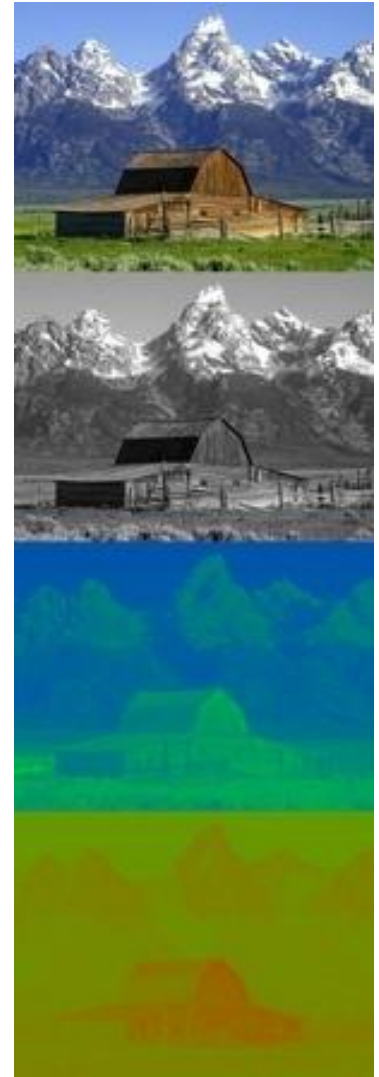
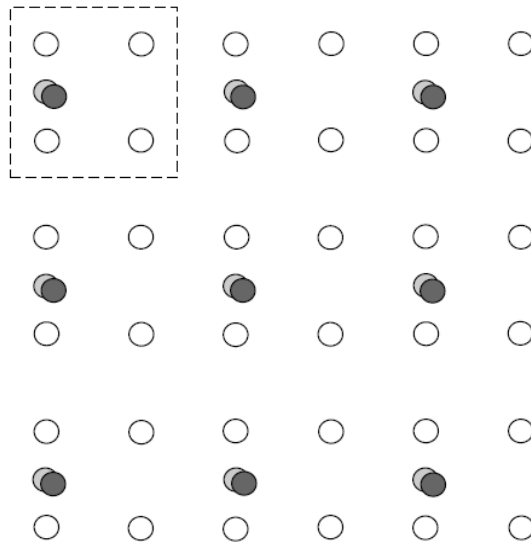
### 3 分量替换融合法—新视角

#### □ RGB→YUV

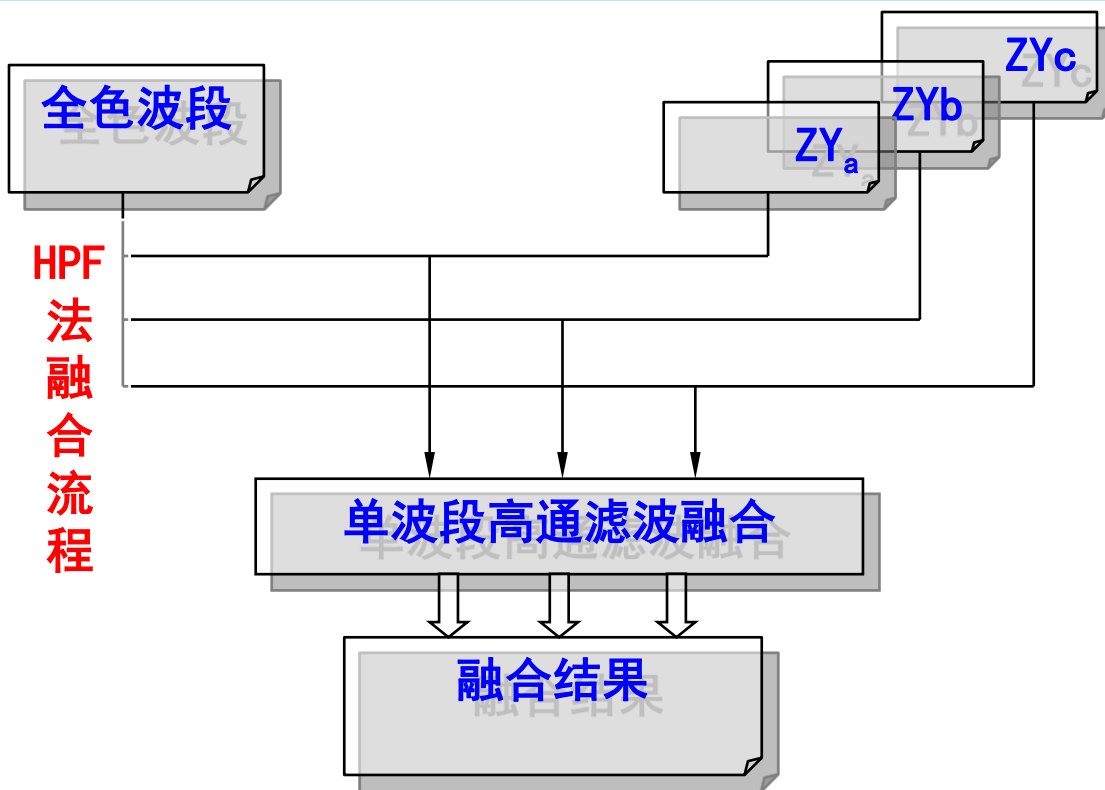
$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.169 & -0.332 & 0.500 \\ 0.500 & 0.419 & -0.0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix}$$

#### □ 4:2:0 采样

○ Y sample  
● Cr sample  
● Cb sample



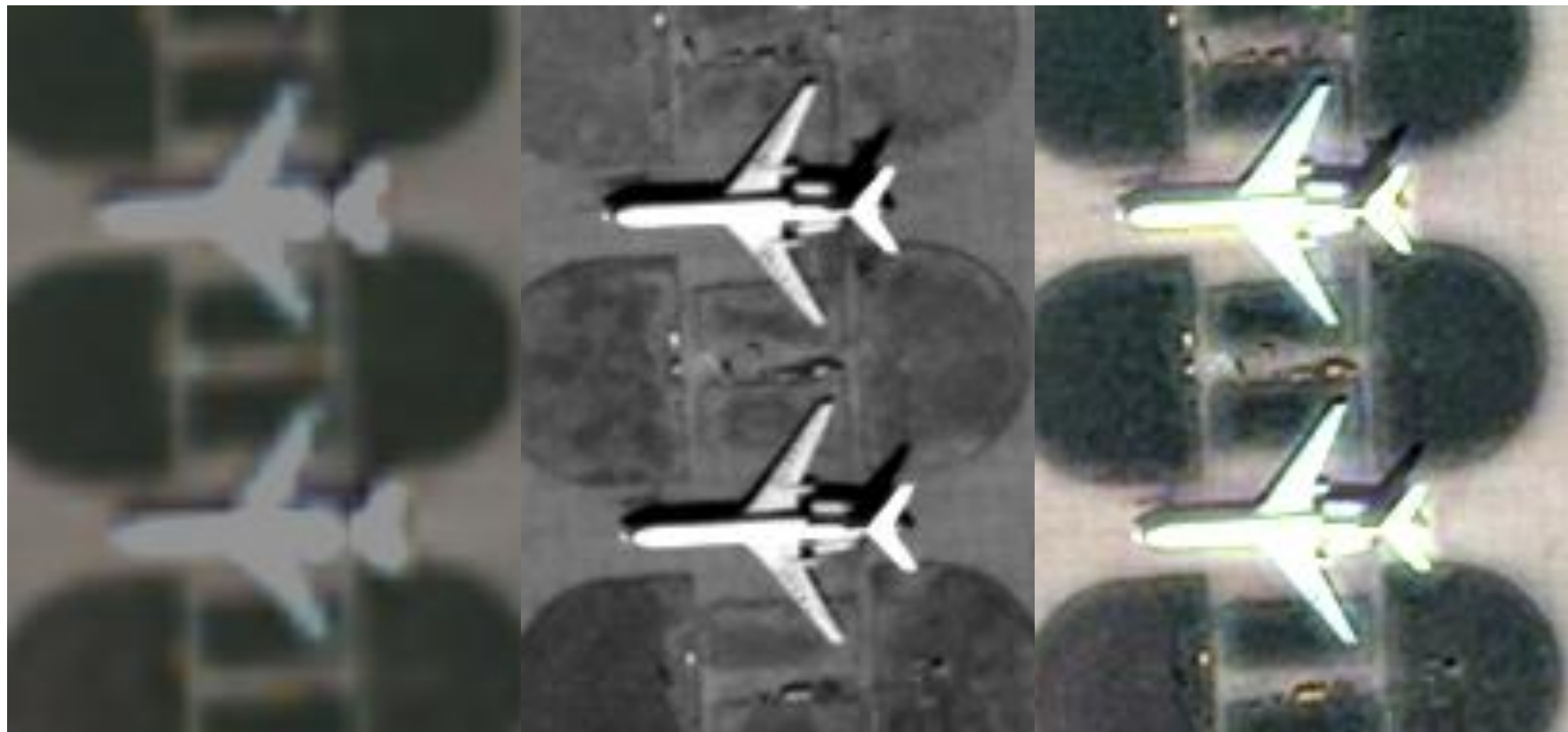
## 4 频域分解融合法—高通滤波



$$F(x, y, p) \triangleq P(x, y) - (P(x, y) - [M \uparrow k](x, y, p)) * G(x, y)$$

$$= [P(x, y) - P(x, y) * G(x, y)] + [M \uparrow k](x, y, p) * G(x, y)$$

## 4 频域分解融合法—高通滤波



多光谱

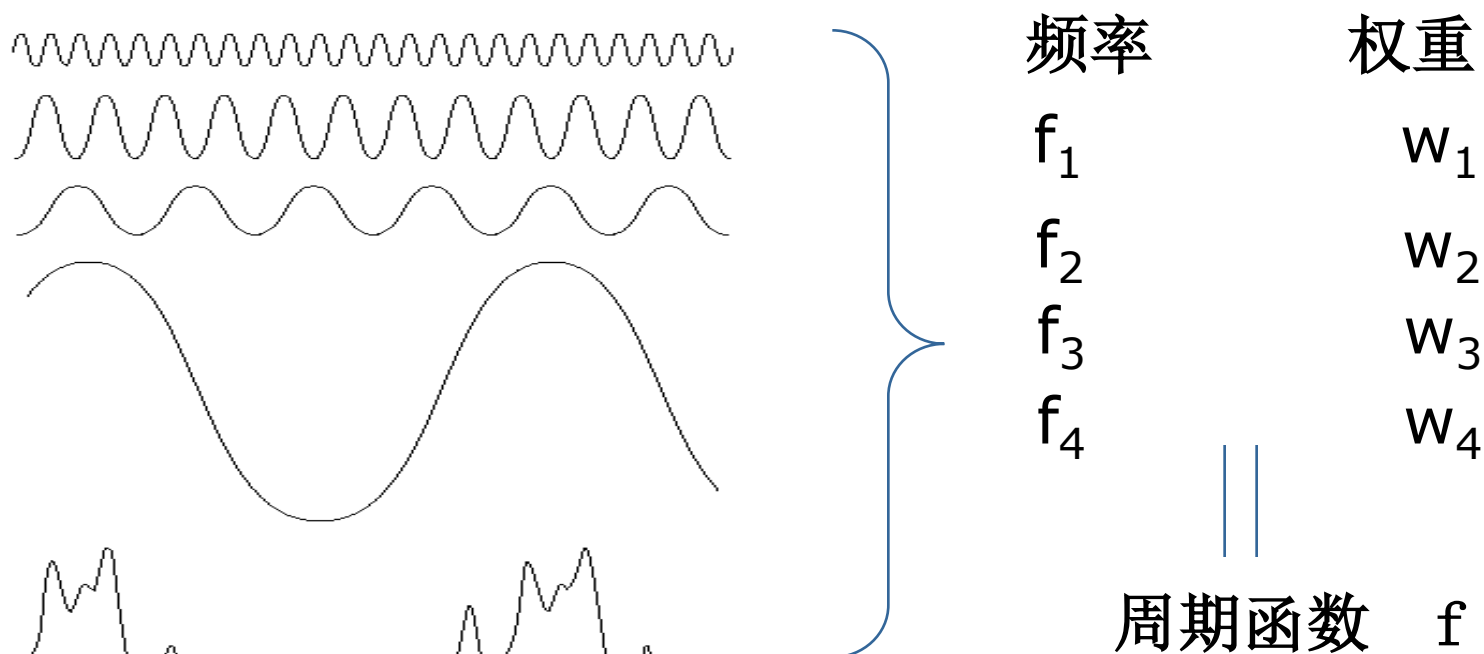
全色

融合



## 4 频域分解融合法—小波变换

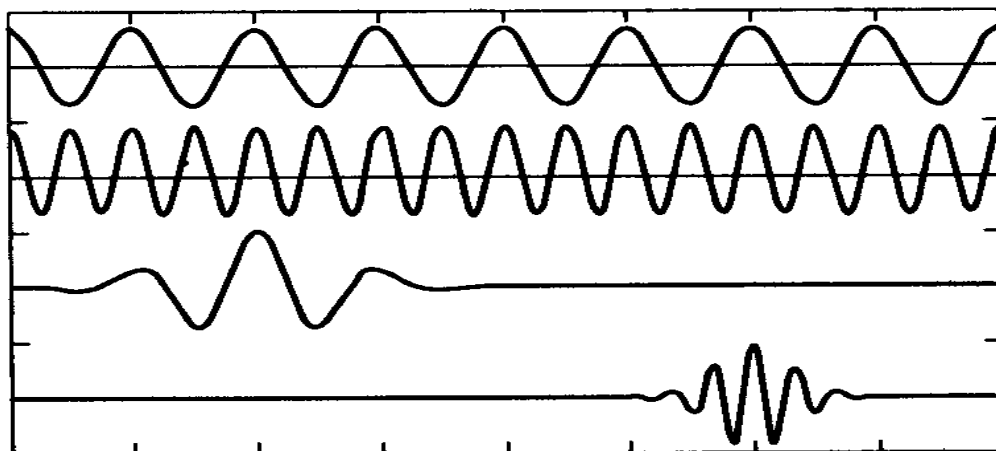
- 传统的傅立叶变换(FT)：提供了有关频率域的信息，但有关时间（空间）的局部化信息却基本丢失。



把一个复杂的输入信号分解成  
复指数信号的线性组合

## 4 频域分解融合法—小波变换

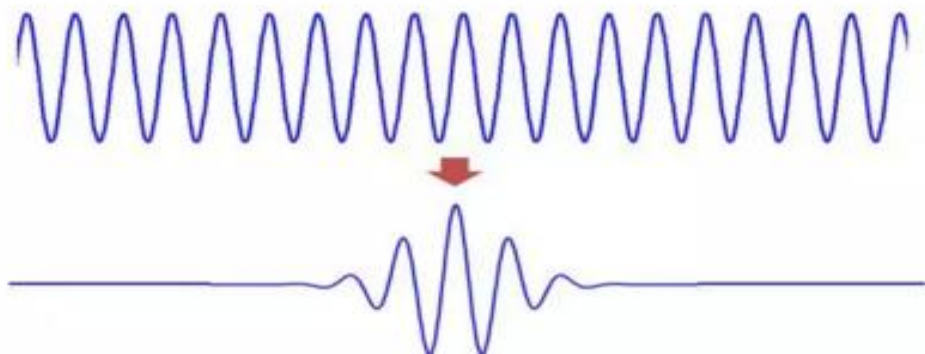
- 传统的**傅立叶变换**(FT)：提供了有关频率域的信息，但有关时间（空间）的局部化信息却基本丢失。
- **小波变换**(WT)：提供局部分析与细化的能力，可聚焦到分析对象的任意细节——“数学显微镜”。



## 4 频域分解融合法—小波变换

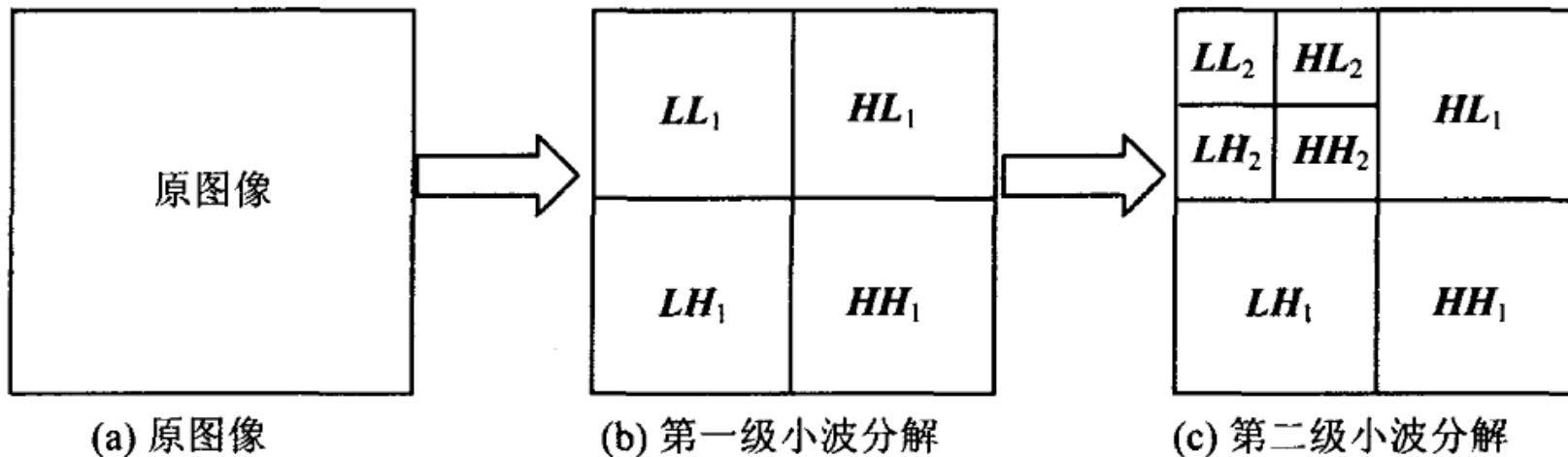
### 小波变换

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) * e^{-iwt} dt \Rightarrow WT(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) * \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt$$



$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-j2\pi ux} dx$$

傅里叶变换→小波变换



## 4 频域分解融合法—小波变换

对于图像处理，需要将连续小波变换与逆变换离散化，在此给出经典Mallat算法的离散形式

$$A_l(i, j) = \frac{1}{2} \sum_{m, n \in \mathbb{Z}} h(m)h(n)A_{l-1}(2i - m, 2j - n)$$

$$D_l^1(i, j) = \frac{1}{2} \sum_{m, n \in \mathbb{Z}} h(m)g(n)A_{l-1}(2i - m, 2j - n)$$

$$D_l^2(i, j) = \frac{1}{2} \sum_{m, n \in \mathbb{Z}} g(m)h(n)A_{l-1}(2i - m, 2j - n)$$

$$D_l^3(i, j) = \frac{1}{2} \sum_{m, n \in \mathbb{Z}} g(m)g(n)A_{l-1}(2i - m, 2j - n)$$

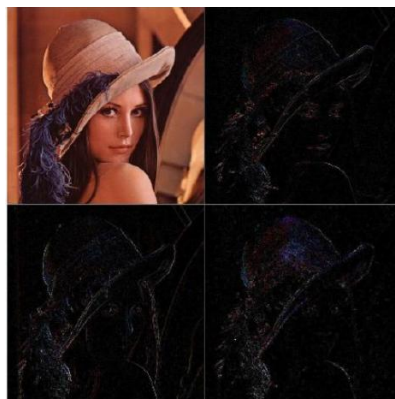
## 4 频域分解融合法—小波变换

$a_1$ 近似值	$h_1$ 水平细节
$v_1$ 垂直细节	$d_1$ 对角细节

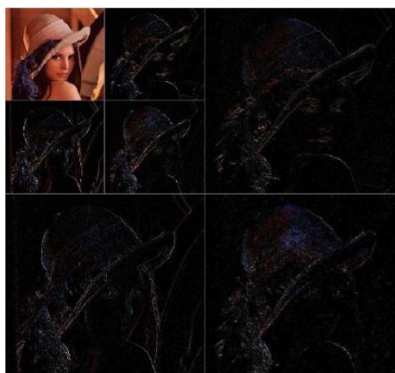




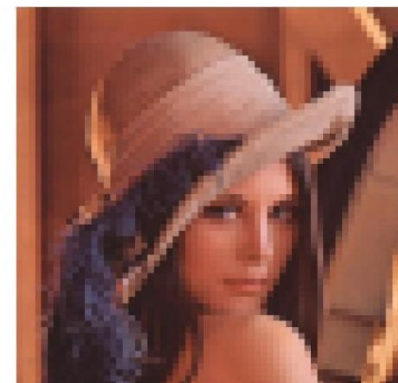
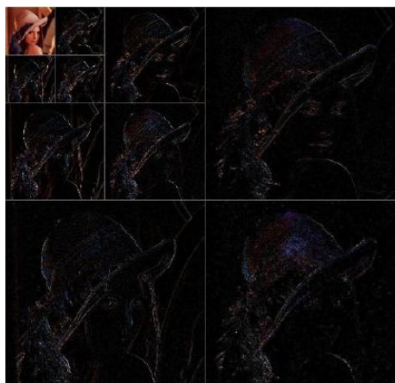
一级分解,  
压缩率  
 $1/4$



二级分解,  
压缩率  
 $1/16$

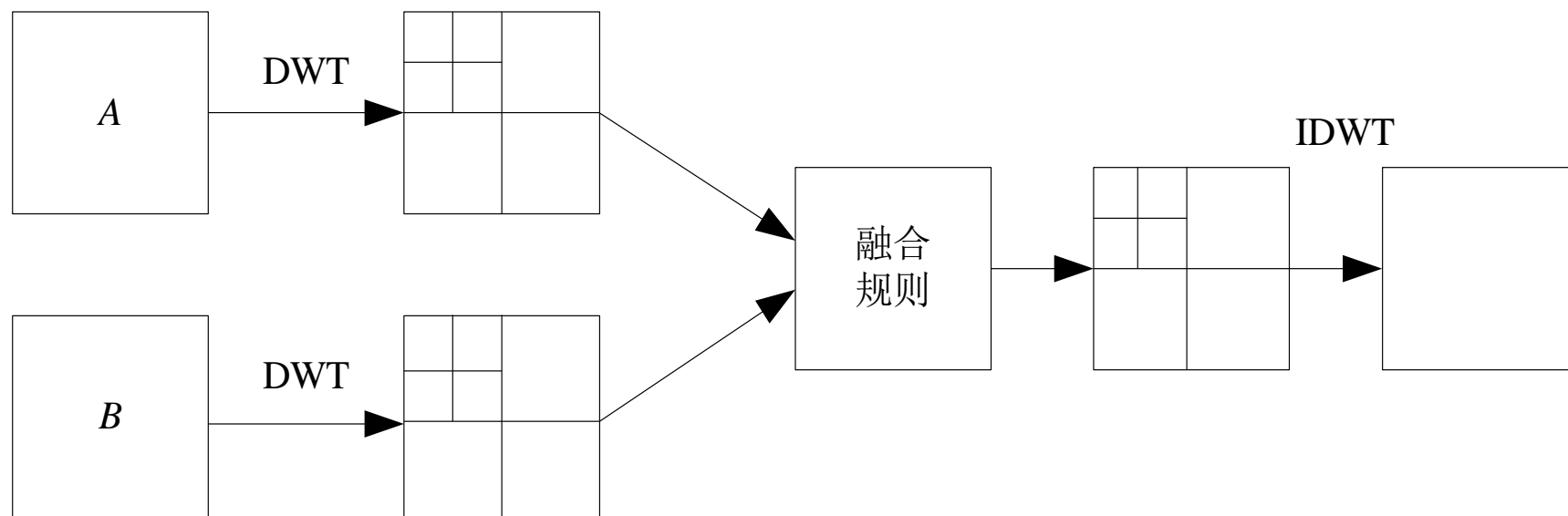


三级分解,  
压缩率  
 $1/64$





## 4 频域分解融合法—小波变换



基于小波分解的图像融合方法原理图

# 基于小波变换的图像融合方法

- **基于特征的小波变换融合算法：**综合考虑两幅图像的显著特征，不做直接替换。
- 将待融合的图片A、B分别作J层塔式小波分解，低频近似分量分别为 $S_A(2^j; x, y)$ 、 $S_B(2^j; x, y)$ ，高频细节分量分别为 $W^{(k)}_A(2^j; x, y)$ 、 $W^{(k)}_B(2^j; x, y)$ ，其中， $k=1, 2, 3$ ，代表3个方向； $j=1, 2, \dots, J$ ，代表不同的分辨率。进一步假设 $W^{(k)}_A(2^j; x, y)$ 、 $W^{(k)}_B(2^j; x, y)$ 中以 $(x, y)$ 为中心像元的 $3 \times 3$ 或者 $5 \times 5$ 窗口内的方差分别为 $D^{(k)}_A(2^j; x, y)$ 、 $D^{(k)}_B(2^j; x, y)$

# 基于小波变换的图像融合方法

## ■ 融合步骤:

■ 尺度 $2^j$ 下融合后的高频细节分量为

$$W^{(k)}(2^j; x, y) = \begin{cases} W_A^{(k)}(2^j; x, y), & D_A^{(k)}(2^j; x, y) > D_B^{(k)}(2^j; x, y) \\ W_B^{(k)}(2^j; x, y), & \text{其他} \end{cases}$$

式中,  $k=1, 2, 3$ , 代表3个方向;  $j=1, 2, \dots, J$ , 代表不同的分辨率

■ 尺度 $2^J$ 下融合后的低频近似分量为

$$S(2^J; x, y) = k_1 S_A(2^J; x, y) + k_2 S_B(2^J; x, y)$$

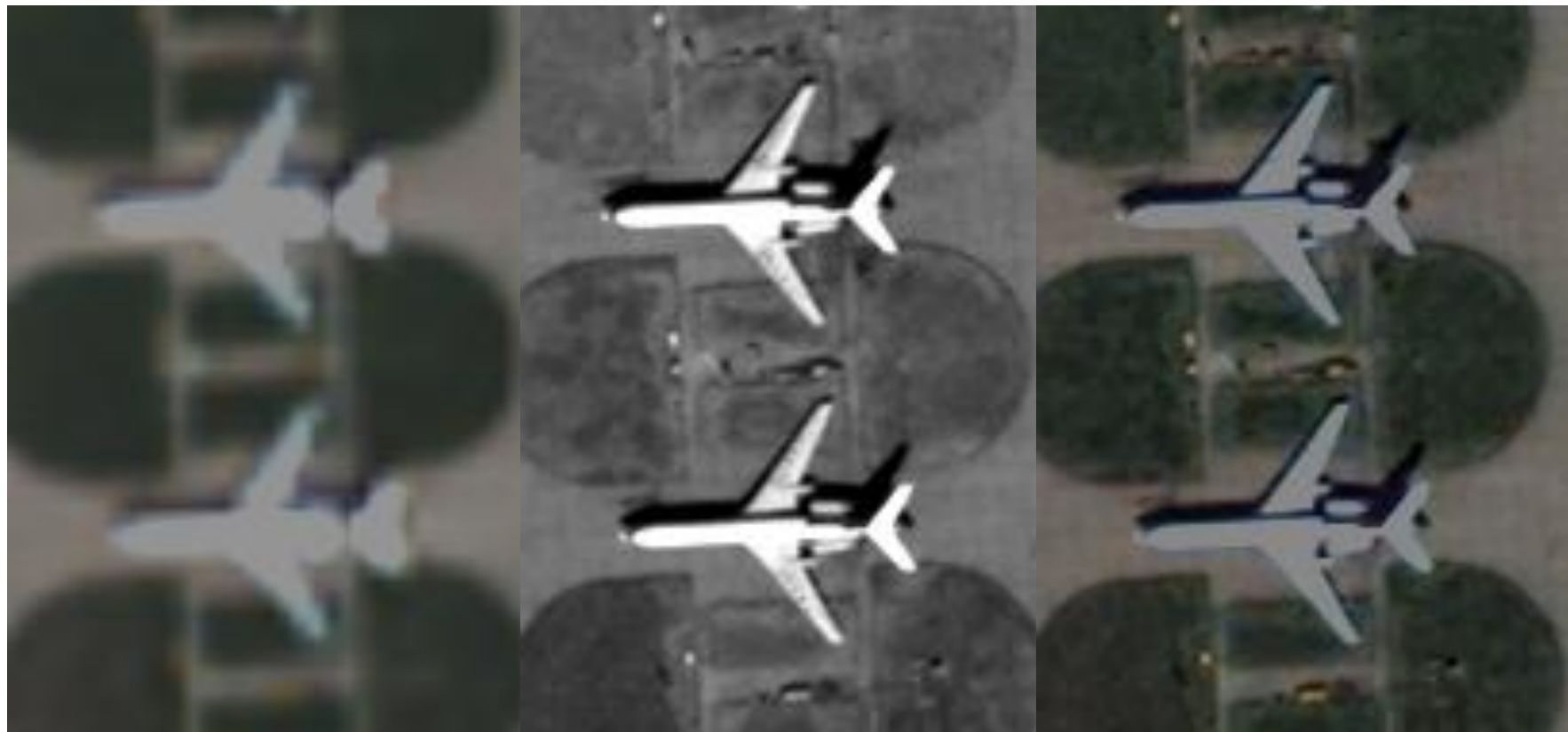
式中,  $k_1$ 、 $k_2$ 为权系数, 满足 $k_1+k_2=1$

# 基于小波变换的图像融合方法

## ■ 融合步骤:

- 一致性检测：对于各个融合后的高频细节分量，若某像素的8邻域中至少有5个像素来自于图像A（或者图像B），则该像素融合后的高频细节分量也调整为由图像A（或者图像B）确定；否则不作调整。
- 小波反变换。根据 $S(2^J; x, y)$ 和 $W^{(k)}(2^j; x, y)$ ， $k=1, 2, 3, j=1, 2, \dots, J$ ，利用小波反变换得到融合图像。

## 4 频域分解融合法—小波变换



多光谱

全色

融合

# 第二讲：融合

---

一 融合发展概述

二 遥感图像融合意义

三 融合方法与分类

四 融合效果评价



# 1 评价原则

- 融合结果性能评价指标的选取一般根据融合的目的而定。一般从下述四方面进行考虑：
  - 提高分辨率
  - 提高信息量
  - 提高清晰度
  - 目视分析

	Tolerance to miss-registration	Tolerance to size difference	Spectral info. preservation		Total score (out of 20)	Satisfaction rating (%)
			natural colour	colour infrared		
Brovey	Very good [4]	Very good [4]	Very poor [1]	Good [3]	[12]	60%
Wavelet	Poor [2]	Very poor [1]	Poor [2]	Poor [2]	[7]	35%
Optimized-HPF	Poor [2]	Very poor [1]	Poor [2]	Poor [2]	[7]	35%
Adaptive-GIHS	Very good [4]	Good [3]	Very poor [1]	Good [3]	[11]	55%
Gram-Schmidt	Very good [4]	Good[3]	Good [3]	Good [3]	[13]	65%
UNB-Pansharp1	Very good [4]	Very good [4]	Very good [4]	Very good [4]	[16]	80%
UNB-Pansharp2	Excellent [5]	Excellent [5]	Very good [4]	Very good [4]	[18]	90%
Rating score: very poor = 1, poor = 2, good = 3, very good = 4, excellent = 5						

## 2 提高分辨率

□ **均值**：为像素的灰度平均值，对人眼反映为平均亮度。

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(x_i, y_j)}{M \times N}$$

□ **标准差**：反映了灰度相对于灰度均值的离散情况，标准差越大，则灰度级分布越分散。图像反差大，信息量丰富

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (B(x_i, y_j) - \bar{B})^2}{M \times N}}$$

## 2 提高分辨率

□ **偏差**：用来反映融合图像与原始图像在光谱信息上的匹配程度。如果偏差指数较小，则说明融合后的图像在提高空间分辨率的同时，较好地保留了原始图像的光谱信息。

□ **均方差**：均方差越小说明融合图像与理想图像越接近。

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (\text{observed}_t - \text{predicted}_t)^2$$

□ **协方差**：描述同一目标的低分辨率图像的一个像素涵盖了高分辨率图像的多个像素的信息。如何用低分辨率图像像素信息修正高分辨率图像像素信息，保持其高分辨率，降低其不确定性是不同分辨率图像融合的目的。

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n - 1}$$

### 3 提高信息量

- 信息量增加是图像融合最基本的要求，可以通过融合前后图像信息熵的变化反算出来
- **图像信息熵**的定义为图像的平均信息量，其表达式为：

$$H = -\sum_{i=0}^N P(i) \log(P(i))$$

其中 $P(i)$ 为灰度值为 $i$ 的像素在图像中出现的频率， $N$ 是像素灰度的范围。

### 3 提高信息量

- **清晰度**是用来评价图像模糊程度的重要指标，它反映了图像中微小细节变化与纹理变化的反差特征。在图像平面上，某一区域的灰度级变化率越大，其相应的梯度也越大，同时图像影像的清晰度也就越大。

$$g = \frac{\sum_{x=1}^{M-1} \sum_{y=1}^N \left\{ \frac{1}{2} \left[ (f(x, y) - f(x, y + 1))^2 + (f(x, y) - f(x + 1, y))^2 \right] \right\}^{1/2}}{(M - 1) (N - 1)}$$

## 4 目视分析

分数	质量尺度	妨碍尺度
5分	非常好	丝毫看不出图像质量变坏
4分	好	能看出图像变坏，但并不妨碍观看
3分	一般	清楚的看出图像质量变坏，对观看稍有妨碍
2分	差	对观看有妨碍
1分	非常差	非常严重妨碍观看



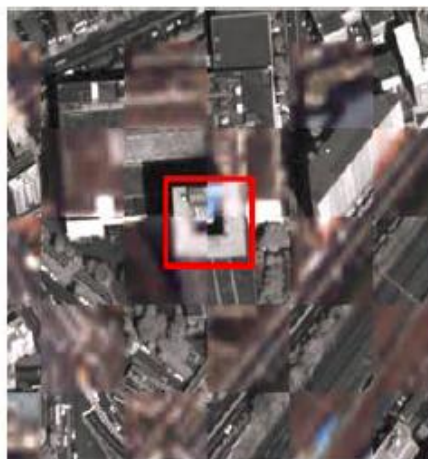
## 5 融合评价尚未解决的问题



Pan image



MS image



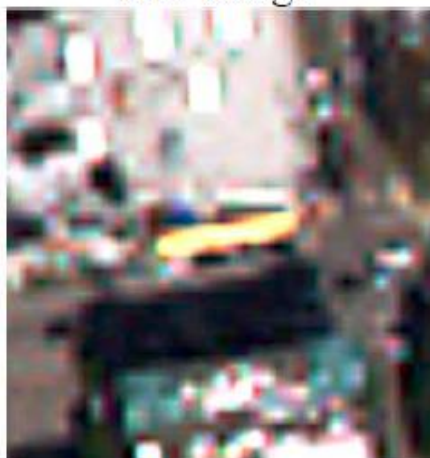
Miss-registration



Image subset



Pan image



MS image



Size difference



Image subset

饱和溢出与配准误差对评价的影响极大