

Image Fusion

Chapter 2– Multi-source image fusion preprocessing

Assoc. Prof Xiao Gang

Email: Xiaogang@sjtu.edu.cn

Office: Aerospace Room.1431

Tel/Fax:021-34206192

Mobile:13918459696



Chapter 2 - multi-source image fusion preprocessing

- 2.1 Introduction
- 2.2 Multi-source image enhancement
- 2.3 Multi-source image correction
- 2.4 Multi-source image registration
- 2.5 Interpolation and resampling algorithm



2.1 Introduction

- 图像校正和图像配准是实现多源图像的融合的必要前期工作
- 本章主要内容
 - 图像增强
 - 图像校正
 - 图像配准
 - 图像重采用



2.2 Multi-source image enhancement

- **图像增强**是对图像进行加工处理，以得到对具体应用而言的视觉效果更“好”，更加“有用”的图像。
 - 如何评价“好”和“有用”？
- **图像增强主要目的**：改变图像的灰度等级，提高图像对比度；消除边缘和噪声，平滑图像；突出边缘或线状地物，锐化图像；合成彩色图像；压缩图像数据量，突出主要信息等。



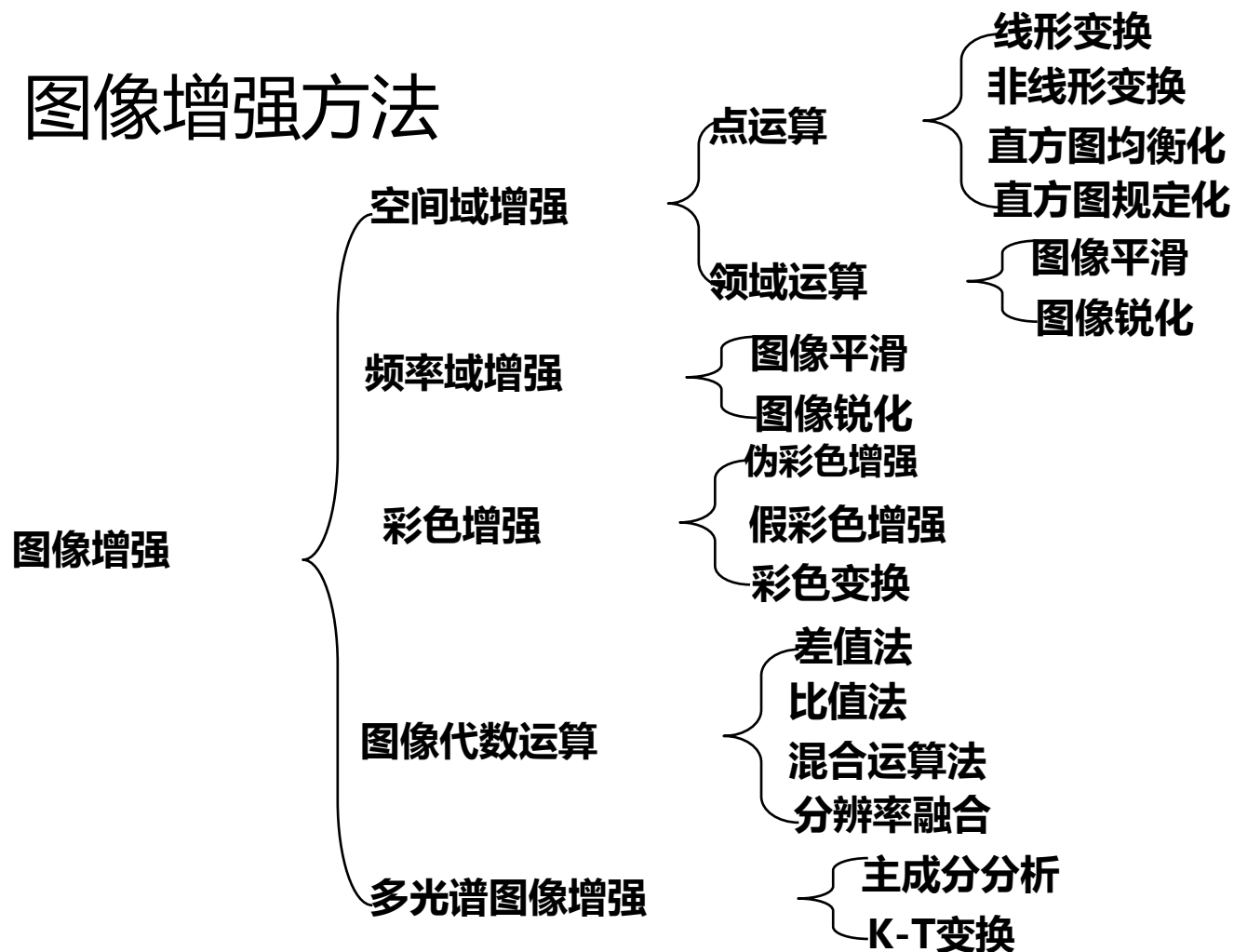
2.2 Multi-source image enhancement

- 图像增强方法：空间域增强和频率域增强
 - **空间域增强**是通过改变像元及相邻像元的灰度值来增强图像；
 - **频率域增强**是对图像进行傅立叶变换，然后对变换后的频率域图像的频谱进行修改，达到增强的目的。



2.2 Multi-source image enhancement

● 图像增强方法



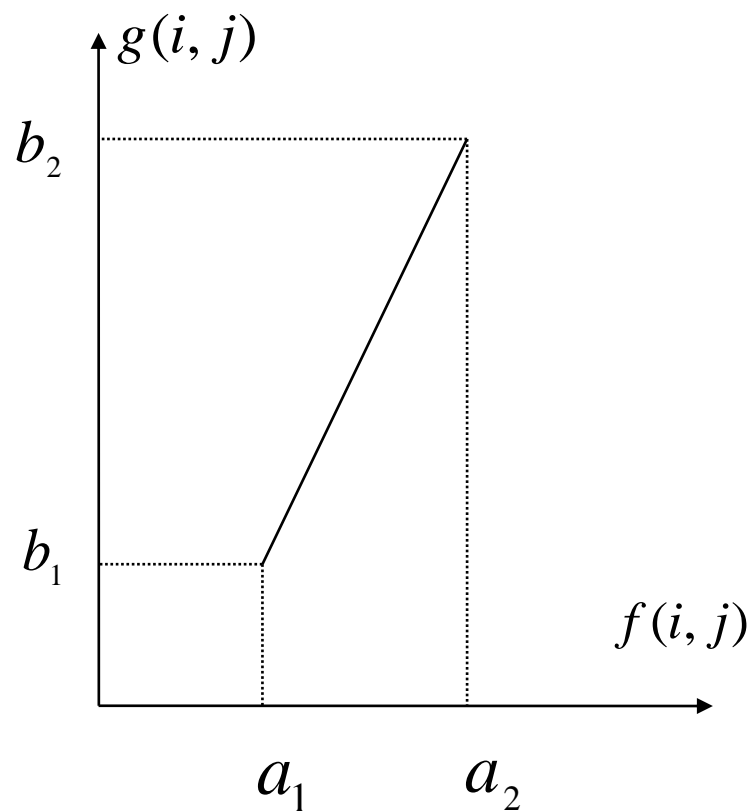
2.2 Multi-source image enhancement

● 线形变换和非线形变换

线形变换

对像元灰度值进行变换可使图像的动态范围增大，图像的对比度扩展，图像变得清晰，特征明显。如果变换函数是线性或分段线性的，这种变换即为线性变换。

线形变换是按**比例扩大**原始灰度级的范围，以充分利用显示设备的动态范围，使变换后图像的直方图的两端达到饱和。



线形变换增强



2.2 Multi-source image enhancement

- 非线性变换

变换函数是非线形的，即为非线性变换。

- 指数函数 - 用于增强图像中亮的部分，扩大灰度间隔，进行拉伸；而对于暗的部分，缩小灰度间隔，进行压缩。

$$x_b = be^{ax_a} + c$$

- 对数函数 - 用于拉伸图像中暗的部分，而在亮的部分压缩。

$$x_b = b \lg(ax_a + 1) + c$$



2.2 Multi-source image enhancement

- 直方图均衡化和规定化
 - **直方图均衡化**是将原图像的直方图通过变换函数变为均匀的直方图，然后按均匀直方图修改原图像，从而获得灰度分布均匀的新图像。
 - **直方图规定化**是指使一幅图像的直方图变成规定形状的直方图而对图像进行变换的增强方法。规定的直方图可以是一幅参考图像的直方图、通过变换，使两幅图像的亮度变化规律尽可能地接近；规定的直方图也可以是特定函数形式的直方图，从而使变换后图像的亮度变化尽可能地服从这种函数分布。



2.2 Multi-source image enhancement

- 空间增强是有目的的**突出图像上的某些特征**，如突出边缘或线性地物；也可以有目的的去掉某些特征，如抑制图像上在获取和传输过程中所产生的各种噪声。
- 空间增强的目的性很强，处理后的图像从整体上看可能与原图像差异很大，但却**突出了需要的信息或削弱了不需要的信息**，从而达到了增强的目的。
- 空间增强在方法上强调了像元与其周围相邻像元的关系，采用空间域中邻域处理的方法，在被处理像元周围的像元参与下进行运算处理，这种方法也叫做**“空间滤波”**。



2.2 Multi-source image enhancement

- 频率域增强

首先将空间域图像 $f(x, y)$ 通过傅里叶变换为频率域图像 $F(u, v)$ ，然后选择合适的滤波器 $H(u, v)$ 对 $F(u, v)$ 的频谱成分进行增强得到图像 $G(u, v)$ ，再经过傅里叶逆变换 $G(u, v)$ 将变回空间域，得到增强后的图像 $g(x, y)$ 。



2.2 Multi-source image enhancement

- 彩色增强
 - 人的眼睛对灰度级的分辨能力较差，正常人的眼睛只能够分辨20级左右的灰度级，而对彩色的分辨能力远远大于对灰度级的分辨能力，达到对灰度级分辨能力的几十倍以上；
 - 将灰度图像变为彩色图像以及进行各种彩色变换可以明显改善图像的可视性。



2.2 Multi-source image enhancement

- 伪彩色增强

伪彩色增强是把一幅黑白图像的不同灰度按一定的函数关系变换成彩色，得到一幅彩色图像的方法。

- 密度分割法是对单波段黑白遥感图像按灰度分层，对每层赋予不同的色彩，使之变为一幅彩色图像；
- 密度分割中的彩色是人为赋予的，与地物的真实色彩毫无关系，因此也称为伪彩色；
- 在理论上完全可以将黑白图像的256个灰度级以256种色彩表示。



2.2 Multi-source image enhancement

- 假彩色增强
 - 由于三个波段原色的选择是根据增强目的决定的，与原来波段的真实颜色不同，因此合成的彩色图像并不表示地物真实的颜色，这种合成称为假彩色合成。
 - eg:多波段遥感图像，选择其中的某三个波段，分别赋予红、绿、蓝(RGB、HSV)三种原色，即可在屏幕上合成彩色图像。



2.2 Multi-source image enhancement

- 彩色变换
 - *IHS*模型。I亮度(-Intensity)、H色度(-Hue)、S饱和度(-Saturation)称为色彩的三要素，I、H、S模型不是基于色光混合来再现颜色的，但它表示的彩色与人眼看到的更为接近；
 - RGB和IHS 两种色彩模式可以相互转换。



2.2 Multi-source image enhancement

- 图像运算

- 加法运算是指两幅同样大小的图像对应像元的灰度值相加。相加后像元的值若超出显示设备允许的动态范围(一般为0 - 255)，则需乘一个正数 a ，以确保数据值在设备的动态范围之内。

$$f_c(x, y) = a[f_1(x, y) + f_2(x, y)]$$

- 加法运算主要用于对同一区域的多幅图像求平均，可以有效地减少图像的加性随机噪声。



2.2 Multi-source image enhancement

- 差值运算

- 差值运算是指两幅同样大小的图像对应像元的灰度值相减。相减后像元的值有可能出现负值，找到绝对值量大的负值 $-b$ ，给每个像元的值都加上这个绝对值 b ，使所有像元的值都为非负数；再乘以正数 a ，以确保像元的值在显示设备的动态范围内。

$$f_D(x, y) = a\{[f_1(x, y) - f_2(x, y) + b]\}$$

- 差值图像提供了不同波段或不同时相图像间的差异信息，能用在动态监测、运动目标检测与跟踪、图像背景消除及目标识别等工作中。



2.2 Multi-source image enhancement

- 比值运算
 - 比值运算是指两个不同波段的图像对应像元的灰度值相除(除数不能为0)，是遥感图像处理中常用的方法。相除以后若出现小数，则必须取整，并乘以正数将其值调整到显示设备的动态范围之内。

$$f_E(x, y) = \text{Int}\left[a \cdot \frac{f_1(x, y)}{f_2(x, y)}\right]$$

- 算法对于增强和区分在不同波段的比值差异较大的地物有明显的效果。



2.2 Multi-source image enhancement

- 多光谱增强
 - K-L(Karhunen-Loeve)变换，又称为主成分变换。又称为主成分变换(Principal component analysis, PCA)或霍特林(Hotelling)变换。

主要原理：对某一N个波段的多光谱图像实施一个线形变换，即对该多光谱组成的光谱空间X乘以一个线形变换矩阵A，产生一个新的光谱空间Y，即产生一幅新的N个波段的多光谱图像。

$$Y = AX$$



2.2 Multi-source image enhancement

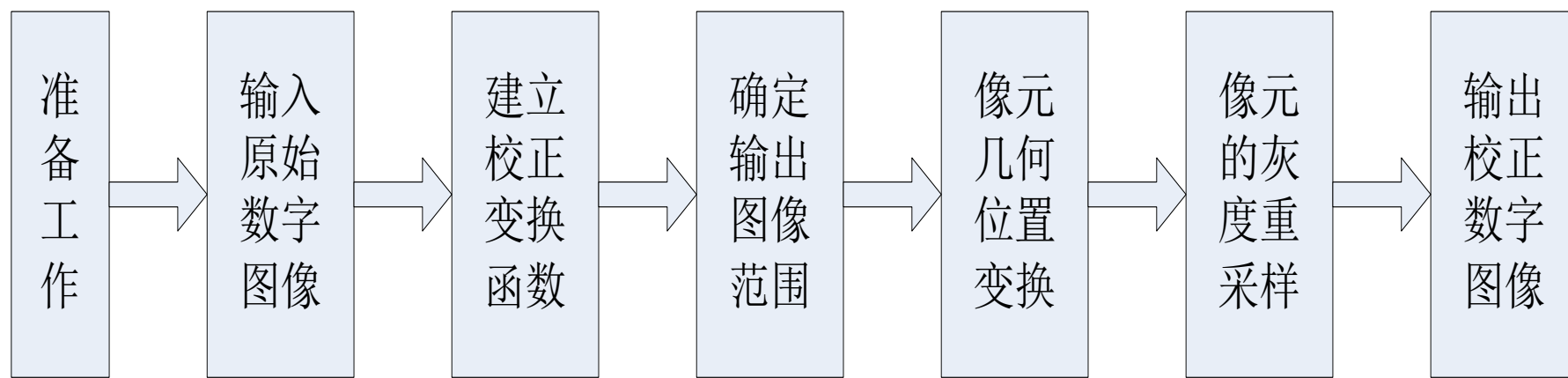
- 多光谱增强
 - K-T变换，又称为缨帽变换。其是对原图像的坐标空间进行平移和旋转，变换后新的坐标轴具有明显的物理含义。

$$Y = CX + a$$

X为变换前多光谱空间的像元矢量；Y为变换后的多光谱空间的像元矢量；C为变换矩阵，a为避免出现负值所加的常数。



Chapter 2.3 - Multi-source image correction



图像几何校正一般步骤



Chapter 2.3 - Multi-source image correction

- ① **准备工作**。包括影像数据、地图资料、大地测量成果、航天器轨道参数和传感器姿态参数的收集与分析，所需控制点的选择和量测等。
- ② **原始数字影像输入**。按规定的格式将(遥感)数字影像用专门的程序读入计算机。
- ③ **建立校正变换函数**。校正变换函数用来建立影像坐标和地面坐标间的数学关系，即输入影像与输出影像间的坐标变换关系。校正的方法按照采用的数学模型而不同，常用的有**多项式法**、**共线方程法**。



Chapter 2.3 - Multi-source image correction

- ④ **确定输出影像范围**。把原始影像的四个角点按照校正变换函数投影到地图坐标中，得到八个坐标值，分别找出横纵坐标的最大值和最小值，并以此确定输出影像的范围。
- ⑤ **像元几何位置变换**。按选定的校正变换函数把原始的数字影像逐个像元的变换到输出影像相应的位置上去，变换方法分**直接法校正**和**间接法校正**（或称为正解法与反解法）。
- ⑥ **像元的灰度重采样**。由于数字影像是客观连续世界或照片的离散化采样，当预知非采样点上的灰度值时，就需要由采样点（已知像素）内插，这称为重采样。重采样的像素灰度是根据它周围原像素的灰度按一定的权函数内插出。

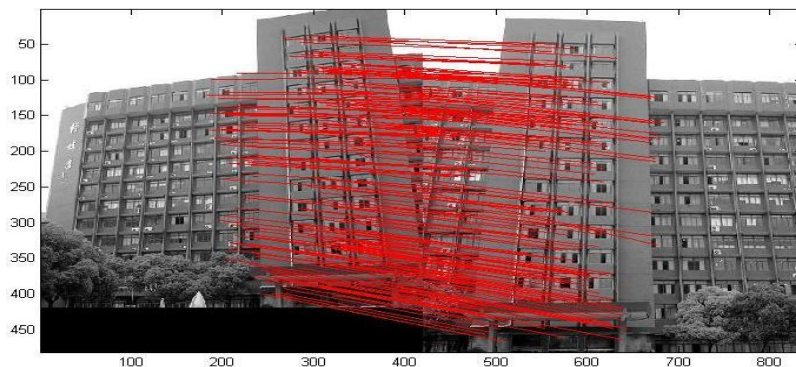
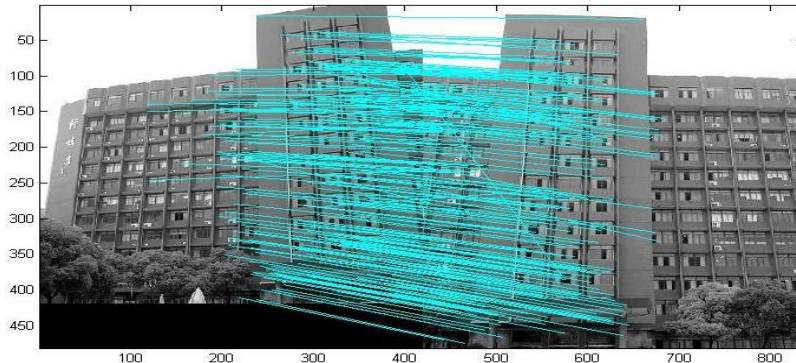


Chapter 2.4 - Multi-source image registration

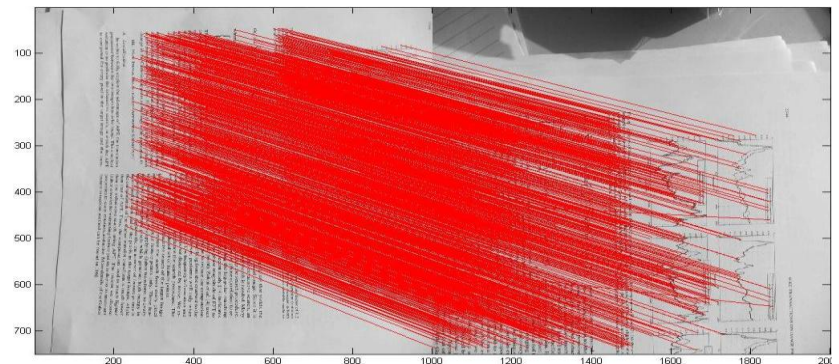
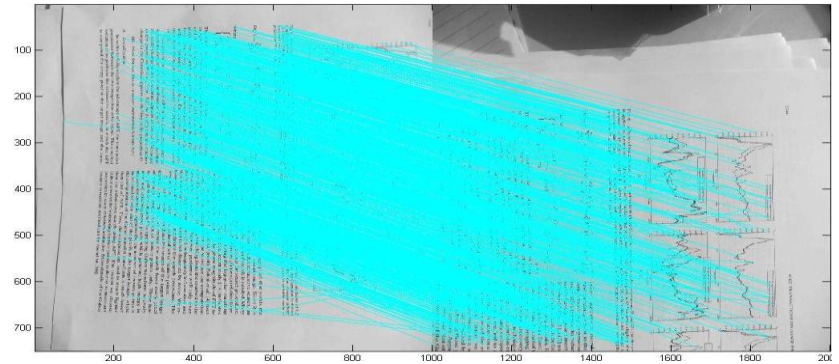
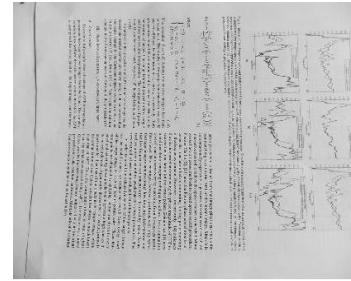
- **配准**，即对同一个景物在不同时间、用不同探测器、从不同视角获得的图像，利用图像中公有的景物，通过比较和匹配，找出图像之间的相对位置关系。
- 图像配准的目标就是找到把一幅图像中的点**映射**到另一幅图像中对应点的最佳变换。
- 图像配准方法都由以下三个部分组成：**特征空间**、**相似性准则**和**搜索策略**。



Chapter 2.4 - Multi-source image registration



建筑物特征匹配实验



英文文献特征匹配实验

Chapter 2.4 - Multi-source image registration

- 图像配准方法都由以下三个部分组成：**特征空间**、**相似性准则**和**搜索策略**。
- **特征空间**从图像中提取用于配准的信息，搜索策略从图像转换集中选择用于匹配的转换方式，**相似性准则**决定配准的相对数值，然后基于这一结果继续搜索直到找到能使相似性度量有令人满意的结果的图像转换方式。
 - 基于灰度信息法
 - 基于变换域方法
 - 基于特征方法



Chapter 2.4 - Multi-source image registration

- 2.4.1 基于灰度信息的图像配准方法
 - 利用图像本身具有灰度的一些统计信息来度量图像的相似程度
 - **优点**：算法简单易行，相似性度量值能够很好的表示两幅图像相象的程度
 - **缺点**：计算量很大，对噪声很敏感



Chapter 2.4 - Multi-source image registration

- Rosenfeld (1982) 互相关法：一种匹配度量，通过计算模板图像和搜索窗口之间的互相关值，来确定匹配的程度，互相关最大时的搜索窗口决定了模板图像在待配准图像中的位置。
- Barnea：提出一种比传统的交叉相关更容易实现的算法，称为序贯相似检测算法（ Sequential Similarity Detection Algorithms, SSDA ）。SSDA 方法的最主要的优点是处理速度快。
- Barnea：改进序贯搜索策略



Chapter 2.4 - Multi-source image registration

- 图像灰度的相似性准则 - **整合平方误差** (ISD - Integrated Square Difference) , 也可称为残差 , 以误差的平方来求累加和。
- Viola/Collignon (1995) , 将交互信息引入到图像配准领域 , 提出了一种新的解决图像配准问题的方法 - 基于信息理论的**交互信息相似性准则**。解决多模态医学图像的配准问题。
- 1948年Shannon , 交互信息 - 比较**两幅图像的统计依赖性**。将图像的灰度视作具有独立样本的空间均匀随机过程 (相关随机场可以采用高斯-马尔科夫随机场模型建立) 用统计特征及概率密度函数来描述图像的统计性质。



Chapter 2.4 - Multi-source image registration

2.4.2 基于变换域的配准方法 - 傅立叶变换

优点：

- ① 图像间的平移、旋转和尺度等变换在傅立叶域均有对应量
- ② 对抗与频域不相关或独立的噪声，有很好的鲁棒性
- ③ 用FFT可以快速实现

本质：根据傅氏变换的旋转性质，旋转一幅图像，在频域相当于对其傅氏变换作相同的角度的旋转。



Chapter 2.4 - Multi-source image registration

- 2.4.3 基于特征的图像匹配方法
 - 基于灰度和变换域的配准方法都具有如下**不足**：
：受光照影响大，对灰度变换敏感；在搜索空间会出现很多的局部极值点；处理的信息量大，计算复杂度高；对旋转、尺度变换以及遮掩等极为敏感。
 - 基于特征的方法能够避免上述缺点，而且图像中特征数目比较少、特征间的匹配度量随位置变动很大、可以利用图像轮廓特征间的几何约束关系，对干扰变形等有较强的适应能力。



Chapter 2.4 - Multi-source image registration

- 基于特征的图像配准方法**三个步骤**
 - **特征提取**，根据图像性质提取适用于图像配准的几何或灰度特征。
 - 图像特征有：**特征点**（包括角点、高曲率点）、**直线段**、**边缘**、**轮廓**、**闭合区域**、**特征结构**以及**统计特征**如矩不变量、重心等等。
 - **特征匹配**，将两幅待配准图像中提取的特征作一一对应，删除没有对应的特征。
 - **图像转换**，利用匹配好的特征代入符合图像形变性质的图像转换（仿射、多项式等）以最终配准两幅图像。



Chapter 2.4 - Multi-source image registration

- 基于直方图规定化熵特征的多源图像配准



基准图



待准图

Chapter 2.4 - Multi-source image registration



在待配图上选取的三个子图像(反色表示)



三个子图像在基准图上的配准块

Chapter 2.4 - Multi-source image registration



配准拼接结果

Chapter 2.4 - Multi-source image registration

匹配点对和配准参数
the matching points and parameters

	基准图上匹配点	待配图上匹配点	
1	(180.75, 116.75)	(96.00, 46.00)	
2	(152.00, 176.00)	(67.00, 109.00)	
3	(214.50, 240.25)	(127.00, 171.25)	
4	(297.75, 226.00)	(213.00, 154.50)	
5	(177.00, 349.00)	(90.00, 281.00)	
6	(371.75, 201.00)	(288.00, 129.25)	
配准参数	θ	ΔX	ΔY
	0.264333	85.22 30	69.8451



Chapter 2.4 - Multi-source image registration



近红外波段图像

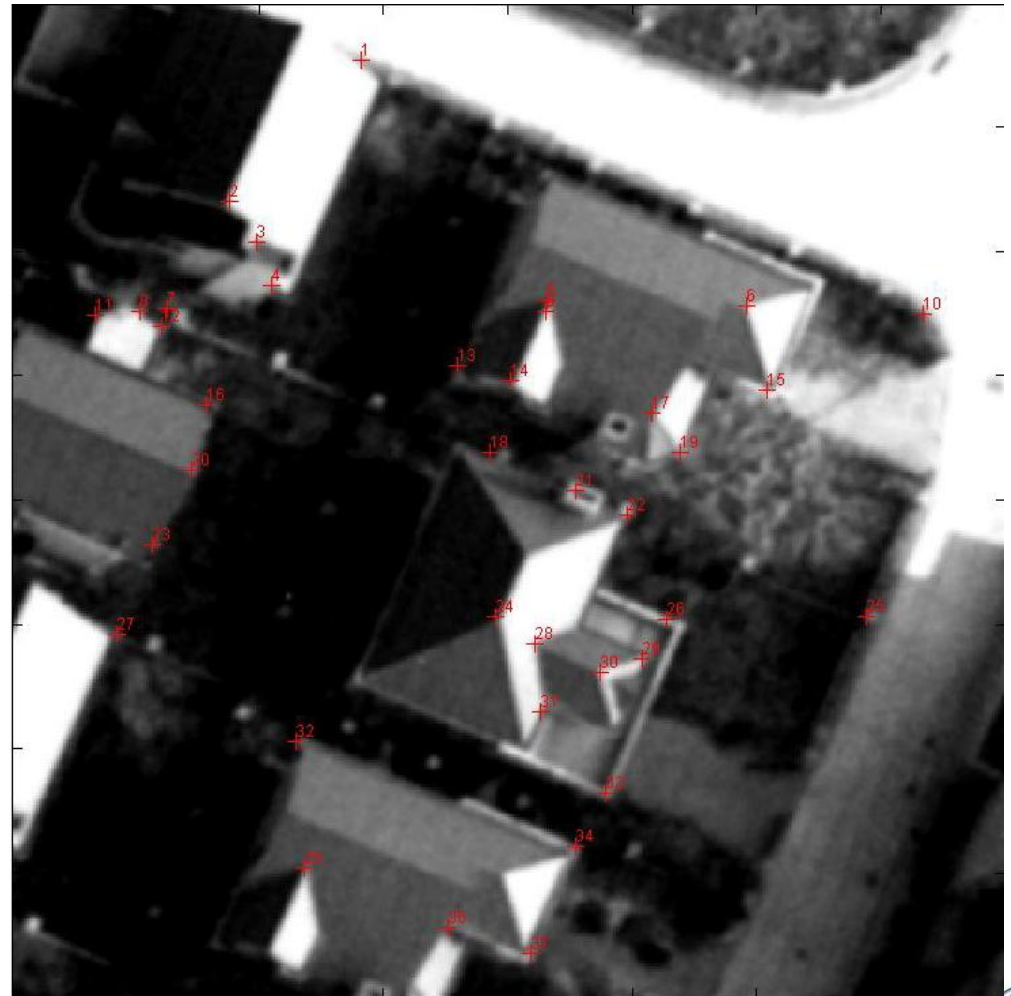
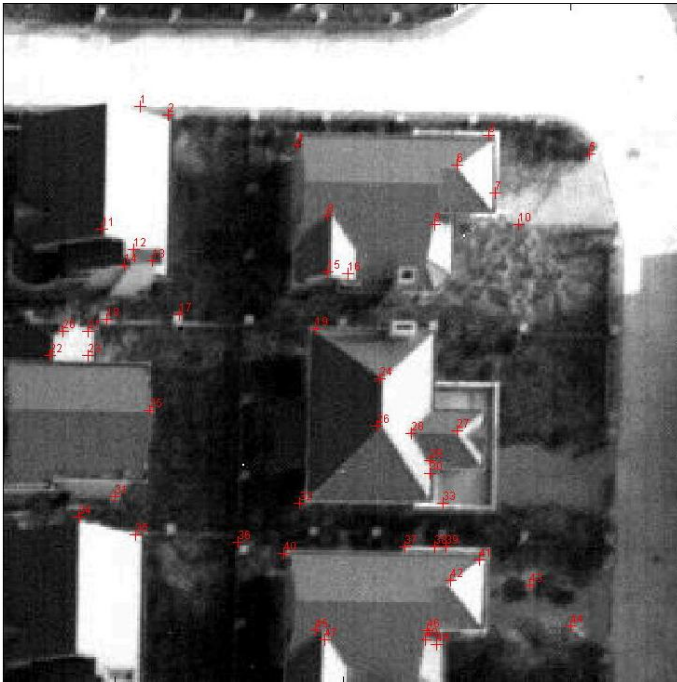


红外波段图像



配准拼接结果

Chapter 2.4 - Multi-source image registration



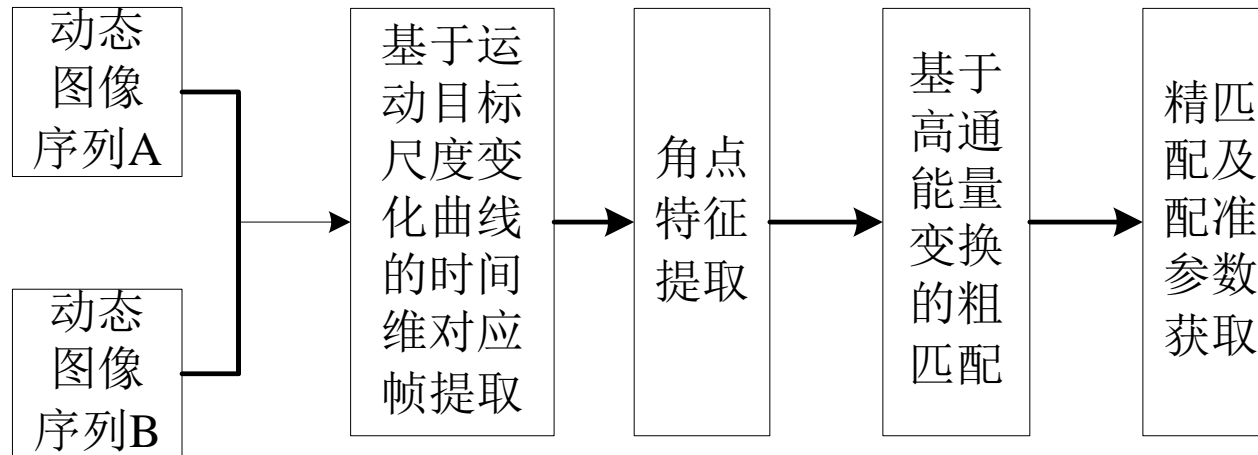
Chapter 2.4 - Multi-source image registration



Chapter 2.4 - Multi-source image registration

2) 红外与可见光动态图像序列配准算法

- 基于运动目标尺度变化的动态图像序列配准



多源动态图像序列特征配准流程

Chapter 2.4 - Multi-source image registration

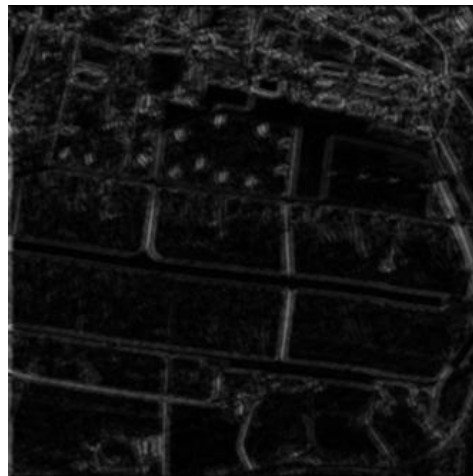
2) 红外与可见光动态图像序列配准算法



红外图像 $\langle 332 \times 332 \rangle$



可见光图像 $\langle 324 \times 254 \rangle$



红外高通能量图像



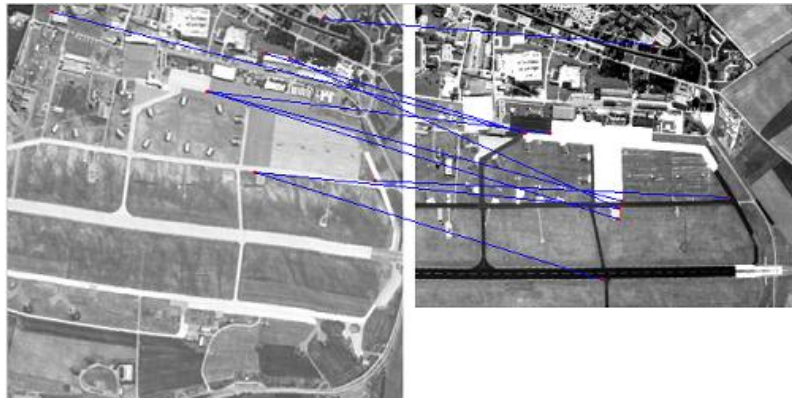
可见光高通能量图像

机载红外与可见光动态图像融合方法和性能分析

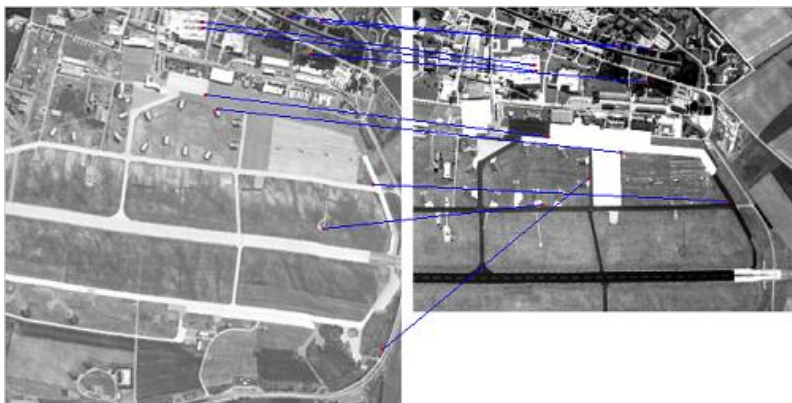


Chapter 2.4 - Multi-source image registration

2) 红外与可见光动态图像序列配准算法



基于原图像的粗匹配结果



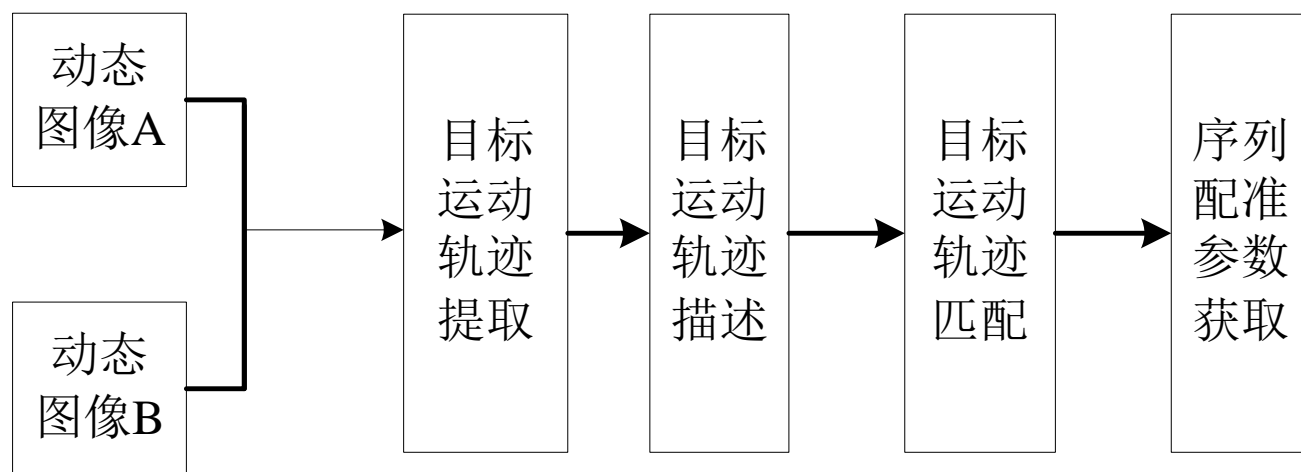
基于高通能量图像的粗匹配结果

i	\hat{x}_i	\hat{y}_i	x_i	y_i	\hat{x}'	\hat{y}'
1	203.00	88.25	150.00	118.75	203.0319	88.0983
2	306.50	33.25	244.50	49.75	306.8405	34.5284
3	167.75	28.00	107.00	63.50	168.4462	27.7279
4	300.00	125.00	251.50	141.75	300.3523	125.5411
5	88.25	176.00	47.50	222.50	86.2148	174.4779
6	305.25	212.75	269.25	228.75	305.2570	213.2466
7	105.75	86.25	53.25	130.25	105.3862	85.0982
8	194.75	199.00	156.75	230.50	193.4123	198.3910
9	198.00	136.00	151.50	167.25	197.4390	135.7553
10	267.00	184.75	227.25	206.00	266.9184	184.8106
RMS'				0.9061 < 1		

Chapter 2.4 - Multi-source image registration

2) 红外与可见光动态图像序列配准算法

- 基于目标运动轨迹的动态图像序列配准算法



基于目标运动轨迹的动态图像序列配准算法流程

Chapter 2.4 - Multi-source image registration



第 002 帧

第 022 帧

第 042 帧

第 062 帧



第 082 帧

第 102 帧

第 122 帧

第 142 帧

基准图像序列



第 003 帧

第 023 帧

第 043 帧

第 063 帧



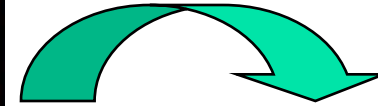
第 083 帧

第 103 帧

第 123 帧

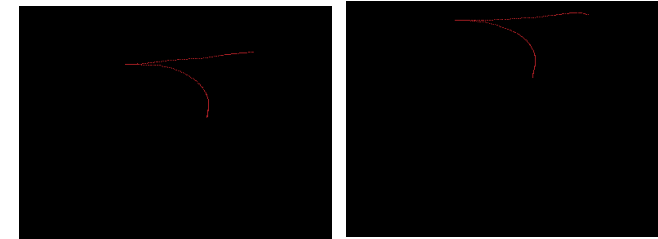
第 143 帧

待配图像序列



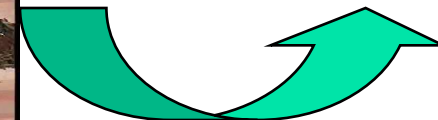
序列 1 的运动轨迹

序列 2 的运动轨迹



匹配后的轨迹段 1

匹配后的轨迹段 1



Chapter 2.4 - Multi-source image registration

2) 红外与可见光动态图像序列配准算法

● 基于目标运动轨迹的动态图像序列配准算法



配准后的图像序列

Sets	A		B		A'	
i	\hat{x}_i	\hat{y}_i	x_i	y_i	\hat{x}'	\hat{y}'
1	271.50	209.00	262.50	162.50	271.85	208.81
2	115.00	216.50	109.00	163.50	115.62	215.73
3	198.50	152.00	196.00	102.50	199.20	150.68
4	248.50	85.00	253.50	36.50	248.84	84.14
5	125.50	73.00	130.50	20.50	126.38	72.88
6	67.50	107.50	68.50	53.00	67.83	106.60
7	228.00	60.00	235.50	12.00	228.33	59.15
8	41.00	199.00	36.50	142.00	41.03	198.03
9	194.00	219.00	186.00	169.00	194.75	218.36
10	304.00	141.50	303.00	96.00	304.34	140.36
RMS'					0.97	

Chapter 2.5 - Interpolation and resampling algorithm

- 插值(Interpolation)就是找出一个函数 f ，使其通过一些特定的点 (x_i, y_i) ，其中 $i=1, 2, \dots, n$ ，满足下列条件：

$$y_i = f(x_i)$$

因而 f 被称为插值函数，它除了一定会通过预先给定的数据点外，也还会符合其它的额外条件，比如斜率相等、函数的微分连续等。



Chapter 2.5 - Interpolation and resampling algorithm

- 图像插值 目的
 - 图像升采样位置上补上对应的像素值，使整个图像达到平滑，有利于进一步的处理
 - 在数学研究中，将一个复杂函数用一种简单的形式(通常是多项式或分段多项式)来表示，以便快速而且容易地计算出其值
 - 将一个较为复杂的函数 $f(x)$ 以较简单的函数 $p(x)$ 来代替，实现简便地计算 $f(x)$ 的微分或积分的目的



Chapter 2.5 - Interpolation and resampling algorithm

- 插值和逼近(approximation)的区别

前者(插值函数)一定会通过所给定的数据点，因此适用于数据没有显著误差的情况；如果数据可能有显著误差，则应使用逼近(如最小平方法)，逼近法所求出的函数会尽量靠近数据点，但逼近函数不一定通过所有的数据点。

对同一组数据点，可以找到无穷多的插值函数，因此我们必须根据已知条件来求出适当的插值函数。



Chapter 2.5 - Interpolation and resampling algorithm

- 插值算法研究的性能指标：
 - (1) 目视效果上，整个区域内图像的像素值能平滑过渡，且计算速度较快
 - (2) 一个小区域内，进行像素点的均方差计算时，其值力求最小



Chapter 2.5 - Interpolation and resampling algorithm

- **图像的插值与重采样算法**

- Monomial插值法

- 线性插值

- 近邻插值法

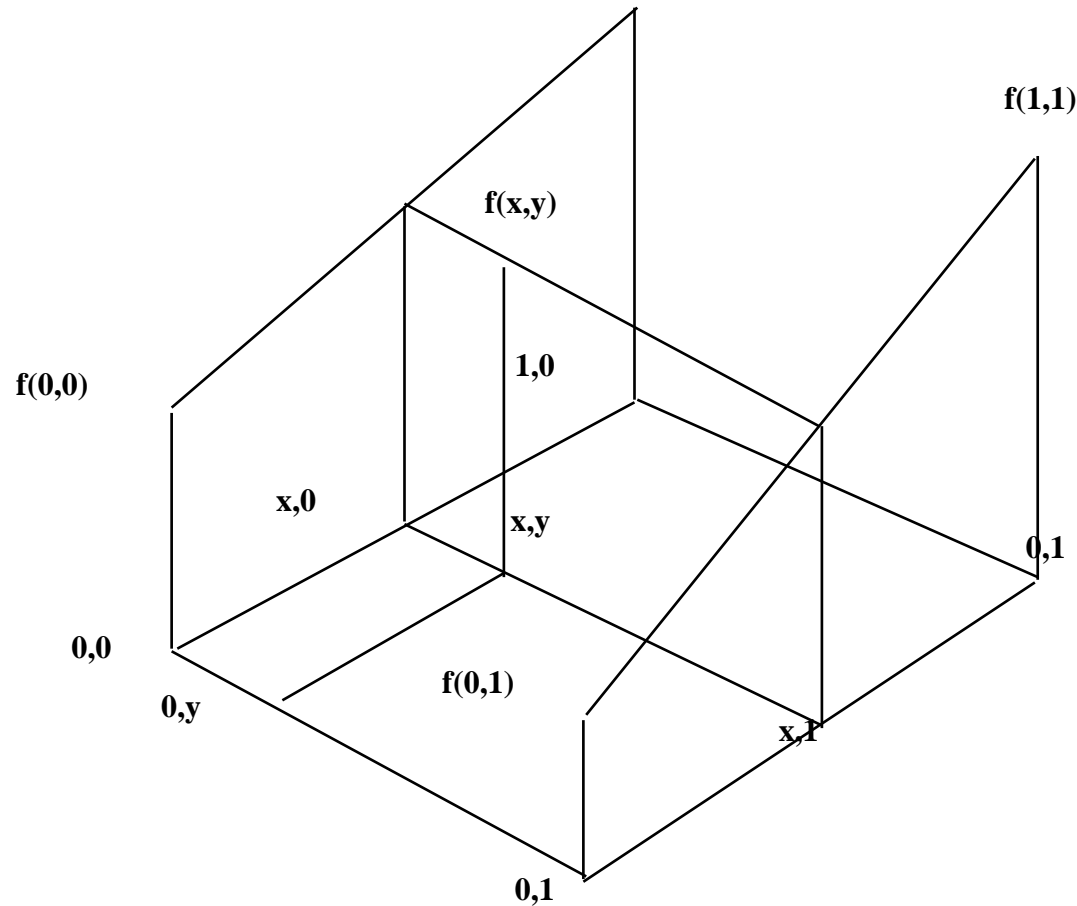
- 近邻插值是最简单的插值算法，亦称零阶插值。它输出的函数值等于距离映射到它的位置最近的数据点的函数值，因而它由于较为简单，在应用于图像插值时常产生人为加工的锯齿形边，故不常用。

- 双线性插值

- 双线性插值也称一阶插值算法



Chapter 2.5 - Interpolation and resampling algorithm



双线性插值模型



Chapter 2.5 - Interpolation and resampling algorithm

- 二阶拉格朗日(Lagrange)插值
- 高阶拉格朗日插值
- 牛顿插值多项式插值



Chapter 2.5 - Interpolation and resampling algorithm



原始图像图



近邻插值法的运算结果

Chapter 2.5 - Interpolation and resampling algorithm



双线插值方法的运算结果



加权拉格朗日法的插值运算结果

Chapter 2.5 - Interpolation and resampling algorithm



全色高分辨率影像 (空间分辨率为0.61米)

(影像大小: 1024×1024 像素)



Quickbird Band3~Band8合成多光谱影像
(空间分辨率为2.44米, 升采样后为0.61米)

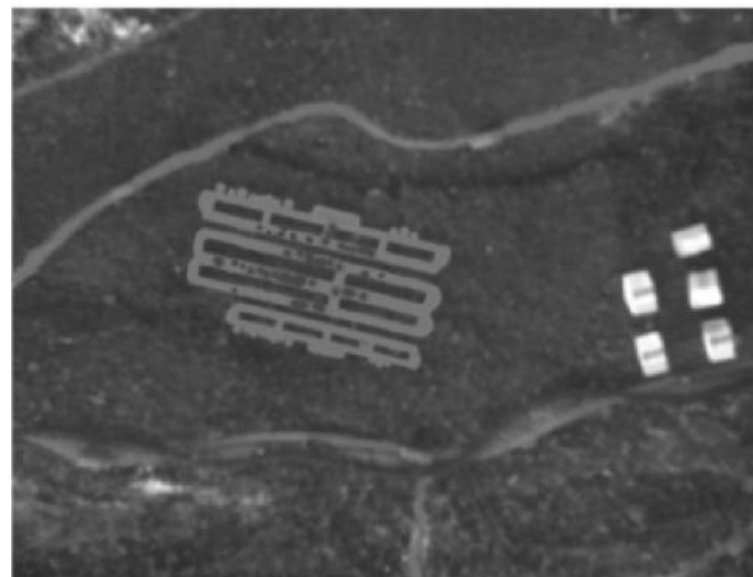
(影像大小: 1024×1024 像素)

**The fusion of different resolution multi-spectral image (Quick Bird Satellite data)
(Hongqiao International Airport, Shanghai, China, 2004)**

特征提取算法及应用举例 - 毁伤评估算法

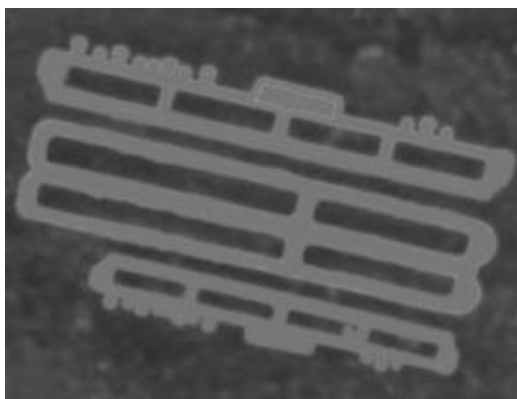


毁伤前机场图像

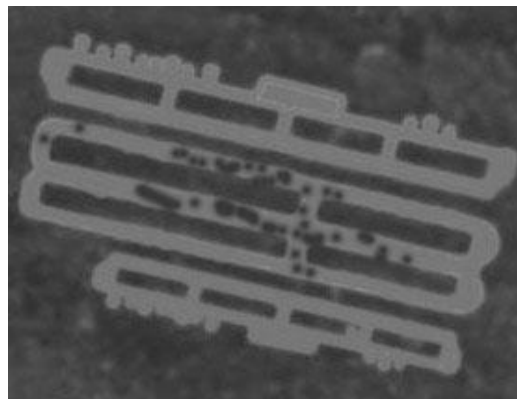


配准后毁伤图像

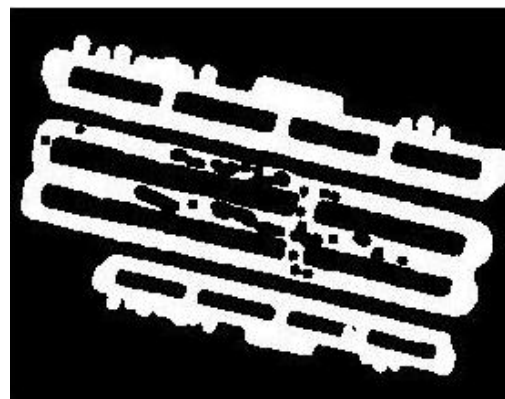
特征提取算法及应用举例 - 毁伤评估算法



截取毁伤前图像

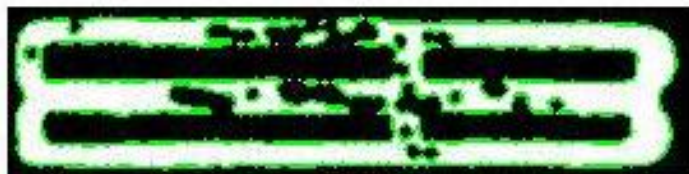


截取毁伤后图像

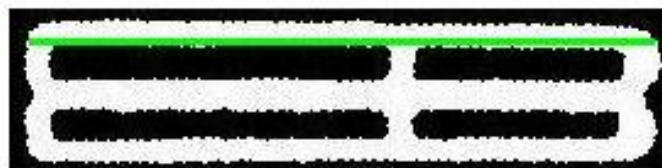


毁伤效果图

特征提取算法及应用举例 - 毁伤评估算法



机场跑道边缘提取



毁伤前最长起飞跑道



毁伤后最长起飞跑道

结果：

$$\mu = 10 \times (1 - \frac{L_a}{L_b}) = 10 \times (1 - \frac{152}{256}) \approx 4.1$$



特征提取算法及应用举例 - 毁伤评估算法

- 基于毁伤面积:

$$\mu = 10 \times \frac{S_a}{S_b} \quad (S_a, S_b \text{ 均以像素表示})$$

μ 为毁伤等级, S_a 为毁伤后的弹坑面积,
 S_b 为毁伤前目标的总面积。

结果: $\mu' = 10 \times \frac{S_a}{S_b} = 10 \times \frac{1394}{56794} \approx 0.25$



举例 - 两种打击方法效果比较



打击效果一



打击效果二

基于面积的毁伤评估：

$$\mu_{11} = 10 \times \frac{S_a}{S_b} = 10 \times \frac{1394}{56794} \approx 0.25 \quad \mu_{21} = 10 \times \frac{S_a}{S_b} = 10 \times \frac{1425}{56794} \approx 0.25$$

基于跑道长度的毁伤评估：

$$\mu_{12} = 10 \times (1 - \frac{L_a}{L_b}) = 10 \times (1 - \frac{152}{256}) \approx 4.1$$

$$\mu_{22} = 10 \times (1 - \frac{L_a}{L_b}) = 10 \times (1 - \frac{237}{256}) \approx 0.7$$



举例 - 两种算法比较

- 分析：
 - 以毁伤面积为评判标准毁伤等级的评判中，0.25级可视为无效的攻击。但是，毁伤后的机场确实截断了一部分的起飞路线。
 - 同样的毁伤面积，最长起飞跑道长度相差甚远，毁伤效果也相差甚远。
- 结论：
 - 以毁伤面积为依据，在进行对一般建筑的毁伤评估上是有效的，但对于机场等有特殊用途的建筑而言就有些欠说服力。而基于跑道长度的评估方法显然更有说服力。
 - 在毁伤评估工作中，单纯地按照毁伤面积评判的思路是远远不够的，而应该更加深入到打击目标的可用性的层次上去研究问题。



- Thanks!
- Questions?

