



福建師範大學
FUJIAN NORMAL UNIVERSITY

遥感概论第三讲

遥感图像处理

程志强

福建师范大学 地理科学学院

2023年9月8日





1

图像预处理

➤ 遥感图像的预处理

地物经过遥感成像，所形成的图像与地面景观的真实辐射相比，可能在像素的**亮度值**和**几何位置上**都存在误差，因此需要把这种误差消除掉。

- 像素的亮度值相对于地面对应地物单元的反射辐射亮度或发射辐射亮度的偏离称为**辐射误差**。
- 像素的几何位置相对于对应地物真实位置(用正射投影衡量)的偏离称为**几何误差**。

消除遥感图像的辐射误差和几何误差的过程就是遥感图像的预处理。

2

辐射校正

➤ 辐射误差产生的原因

(1) 传感器的响应特性

传感器在光电变换的过程中，对各波段的灵敏度是有差异的：

- 传感器对各波段的光谱响应是不同的，由此造成辐射畸变。
- 另外，传感器的光学镜头的非均匀性，会引起边缘减光，也会造成图像辐射的畸变。

2 辐射校正

➤ 辐射误差产生的原因

(2) 大气影响

地物（目标物）的辐射（反射）经过大气层时，与大气层发生散射作用和吸收作用。吸收作用直接降低地物的辐射能量，引起辐射畸变。散射作用除降低地物的辐射能量外，大气散射的部分辐射还会进入传感器，直接叠加在目标地物的辐射能量之中，成为目标地物的噪声，降低了图像的质量。

(3) 太阳辐射差异

光照条件的不同也会引起辐射畸变，如太阳高度角、地面坡度等，都会引起辐射的畸变。

2

辐射校正

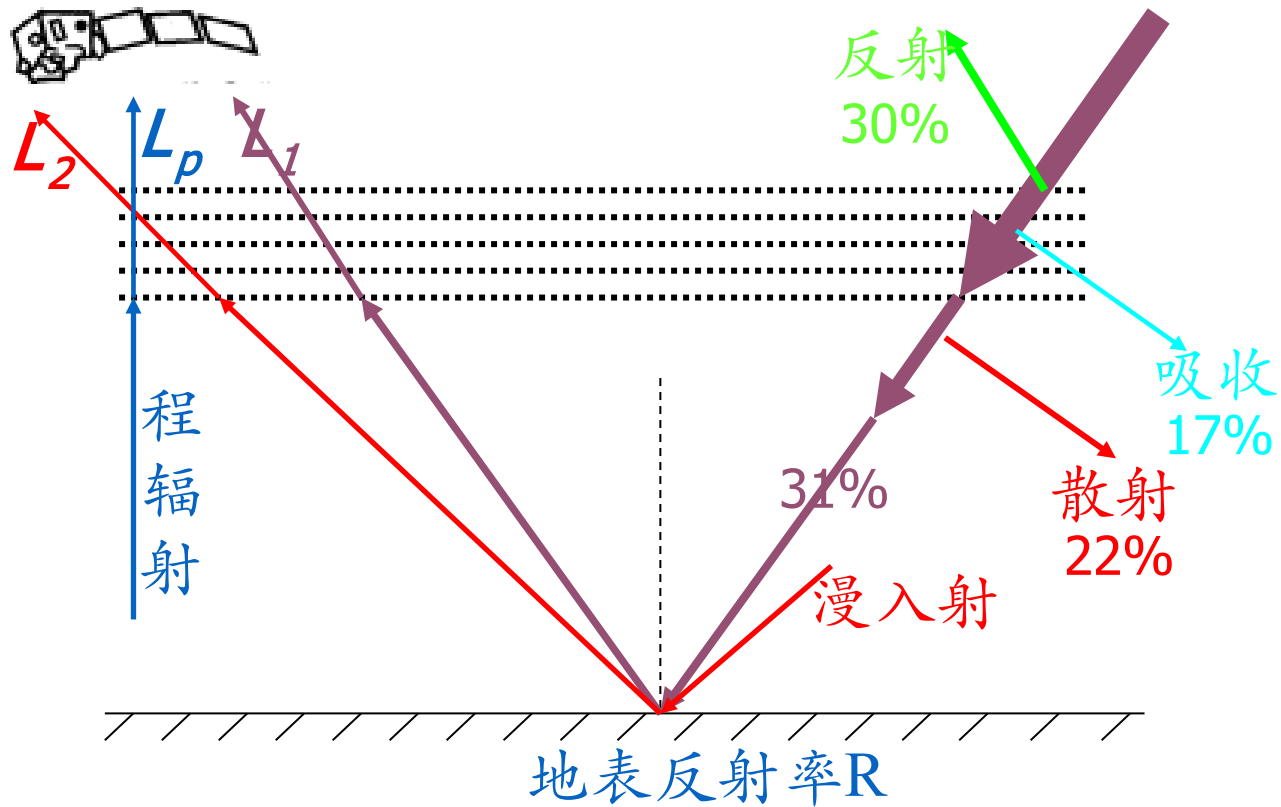
➤ 辐射定标

- **辐射定标**是将传感器记录的电压或**数字值**转换成绝对**辐射亮度**的过程，这个辐射亮度与传感器图像构成特性无关。通过传感器辐射定标可以将传感器输出值转换成云顶辐射亮度，它是定量遥感中非常重要的过程。
- 辐射定标包括三个内容：
 - 1) 发射前的实验室定标
 - 2) 基于星载定标器的飞行中定标
 - 3) 在轨运行期间采用基于陆地或海面特性的“替代定标”，或借助其他卫星进行的“交叉定标”

2

辐射校正

➤ 大气校正



2

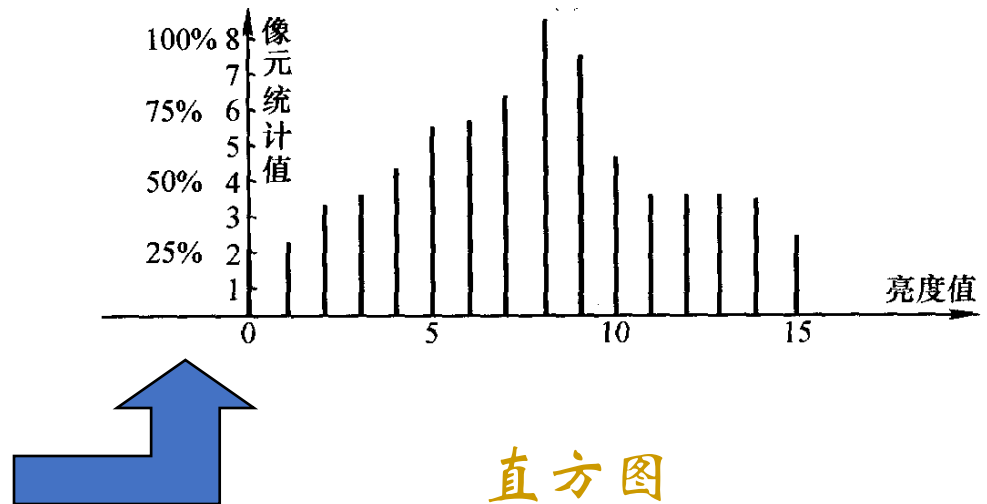
辐射校正

➤ 大气校正

A. 直方图最小值去除法

0	5	8	10	13	14	14	13
5	0	4	9	14	15	12	11
6	2	10	10	13	15	15	12
6	8	9	9	10	12	11	8
5	8	8	9	9	9	11	9
5	7	7	8	8	7	7	8
3	4	7	6	6	3	4	5
1	1	4	6	7	3	2	2

数字图像



图像中辐射亮度或反射率接近0的地物（暗目标），如果不为0，则可近似为大气散射导致的辐射值。

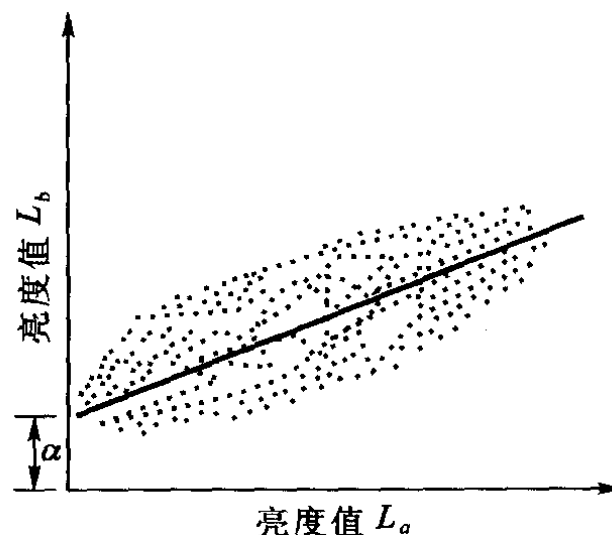
2 辐射校正

➤ 大气校正

B. 回归分析法

假定某红外波段，存在程辐射为
主的大气影响，且亮度增值最小，
接近0，为a波段；现在需要找到其
他波段相应的最小值，这个值一定
比A波段最小值大，为b波段，以此
为XY做回归，得到截距 α ；以b波
段减去 α ，就去掉程辐射。

$$L_b = \beta L_a + \alpha$$



大气散射主要影响短波部分，波长较长的波段几乎不受影响

2

辐射校正

➤ 大气校正

直方图最小值法



较大区域或整幅影像

回归分析法



较小区域或局部影像

2

辐射校正

➤ 大气校正

C. 模型分析法

模型基于MODTRAN大气辐射传输模型计算建立的查找表，并结合暗目标法，利用遥感影像自身的信息对遥感影像进行大气校正。该模型进行的影像逐像元的大气校正，能够有效地降低大气中的大气分子、水汽、臭氧、气溶胶粒子等对卫星遥感影像造成的影响，获得更加精确的地物真实反射率，有利于遥感信息的进一步定量提取和专题解译。

2

辐射校正

➤ 太阳高度和地形校正

- 太阳高度校正

$$DN' = \frac{DN}{\sin(\theta)}$$

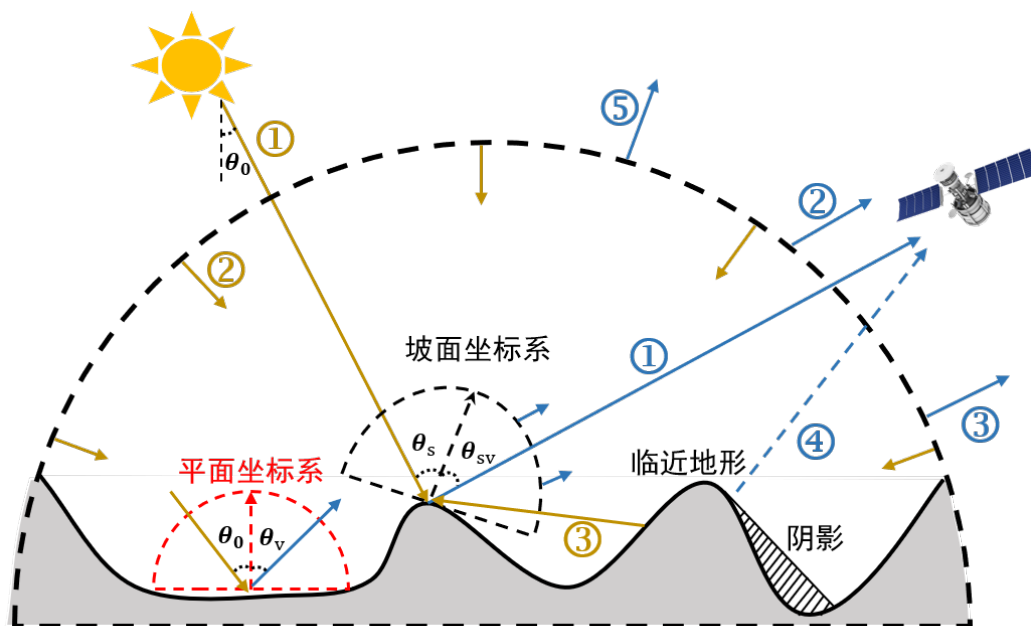
DN' 是输出的像元值； DN 为原始像元值； θ 为太阳角度。

- 地形校正

美国达特茅斯大学的Reeder博士对位于Grand的阔叶落叶林区Landsat TM 4影像亮度值与入射角 θ 余弦、坡度、高程分别进行回归分析，发现影像亮度值与 $\cos(\theta)$ 之间具有高度相关性，因而可以基于入射角余弦进行地形校正。

2 辐射校正

- 地形起伏会改变太阳辐射在太阳-目标地物-传感器之间的传输路径。其中，对目标地物接收太阳下行辐射（DSSR）的影响会较低遥感传感器对植被冠层反射率的获取精度。



- ① 太阳直射辐射
- ② 天空漫反射辐射
- ③ 临近地形辐射

- ① ④ 方向-方向出射辐射
- ② 半球-方向出射辐射
- ③ 方向-半球出射辐射
- ⑤ 半球-半球出射辐射

□ 比值类型植被指数可以消除太阳直射辐射和一部分天空散射辐射，因此利用该类植被指数反演LAI时，需要着重考虑各天空向异性散射光和临近辐射的地形效应：

✓ 天空散射光地形效应求算的关键是解算天空可视因子，平面坐标系下，天空可

视因子 (V_d) :

$$V_d = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{H(\varphi)} \sin \theta [\cos \theta \cos S + \sin \theta \cos S \cos(\varphi - A)] d\theta d\varphi$$

➤ $H(\varphi)$ 为 φ 方向上最大天空张角， θ 和 φ 分别为天顶角和方位角， A 和 S 分别坡度和坡向。

✓ 临近辐射可用如下公式计算：
$$E_{ct} = \sum_{n=1}^N \left(L_n \cos T_m \cos T_n S_n / R_{mn}^2 \right)$$

➤ L_n 为临近像元 n 的反射辐射， S_n 为像元对应地物的坡面面积， T_m 和 T_n 为 m 、 n 连线与对应坡面法线之间的夹角， R_{mn} 为 m 、 n 之间的距离。

□ 上述地形效应存在尺度效应，地形解析越粗糙，即DEM空间分辨率越低，地形对下行辐射的影响越小，因此高精度DEM数据是地形效应校正的关键，无人机激光雷达可提供高精度DEM数据。

3

几何校正

➤ 几何形变

当遥感图像在几何位置上发生了变化，产生了行列不均匀，像元大小与地面大小对应不准确，地物形状不规则变化时，遥感影像发生了几何形变（平移、缩放、旋转偏扭、弯曲及其他变形）。

➤ 几何形变产生的原因

遥感图像的几何变形误差可以分为**静态误差**和**动态误差**两大类。

1. 静态误差指在成像过程中，传感器相对于地球表面呈静止状态时所具有的各种变形误差；
2. 动态误差则主要是由于在成像过程中地球的旋转所造成的图像变形误差。

3

几何校正

➤ 几何形变产生的原因

1) 传感器外方位元素变化

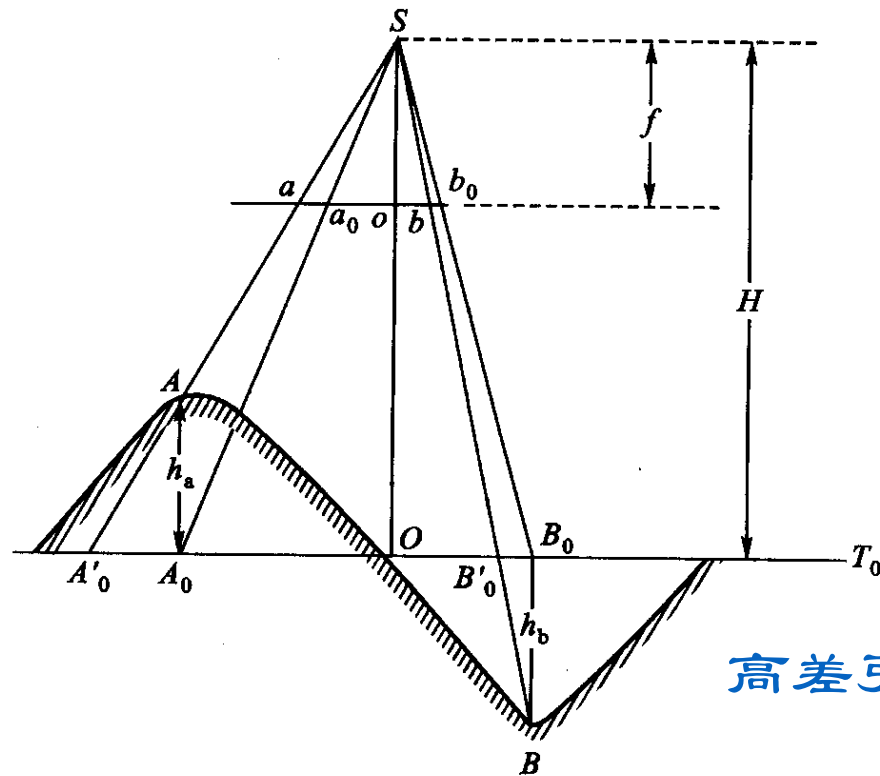
- 航高（导致图象扫描行对应地面长度变化）
- 航速（卫星飞行速度不均、快-扫描超前、慢-扫描滞后）
- 俯仰：星下点俯时后移、仰时前移
- 翻滚（导致星下点在扫描方向偏移）
- 偏行（卫星在前进过程中，相对于原航向偏转了一个小角度，导致图象畸变）

3

几何校正

➤ 几何形变产生的原因

2) 地表起伏的影响



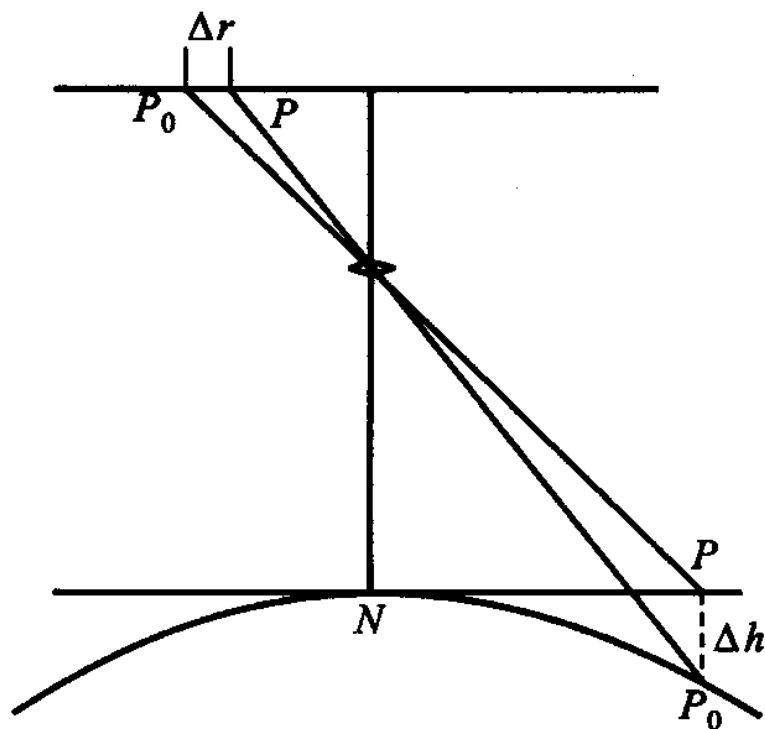
高差引起的像点位移

3

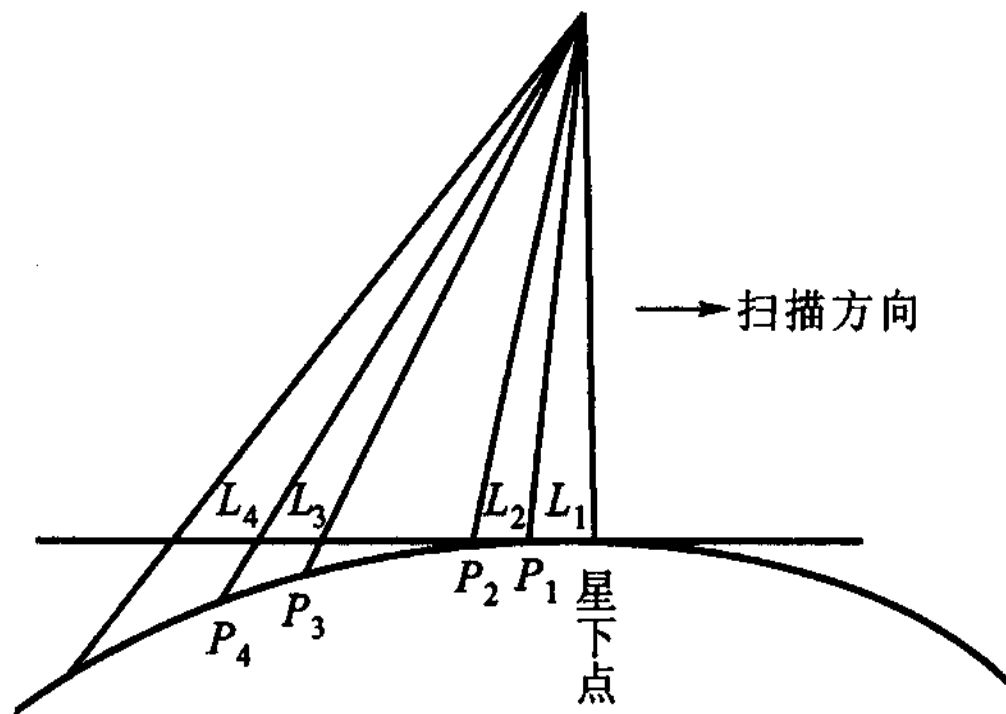
几何校正

➤ 几何形变产生的原因

3) 地表曲率的影响



像点位移



像元对应于地面宽度的不等

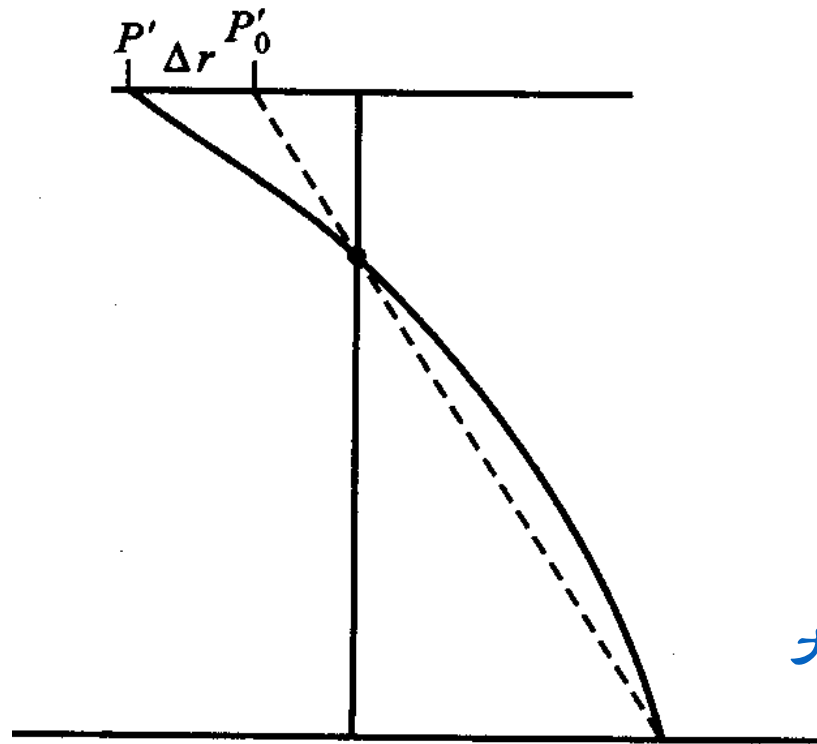


3

几何校正

➤ 几何形变产生的原因

4) 大气折射的影响



大气折射的影响

3

几何校正

➤ 多项式校正

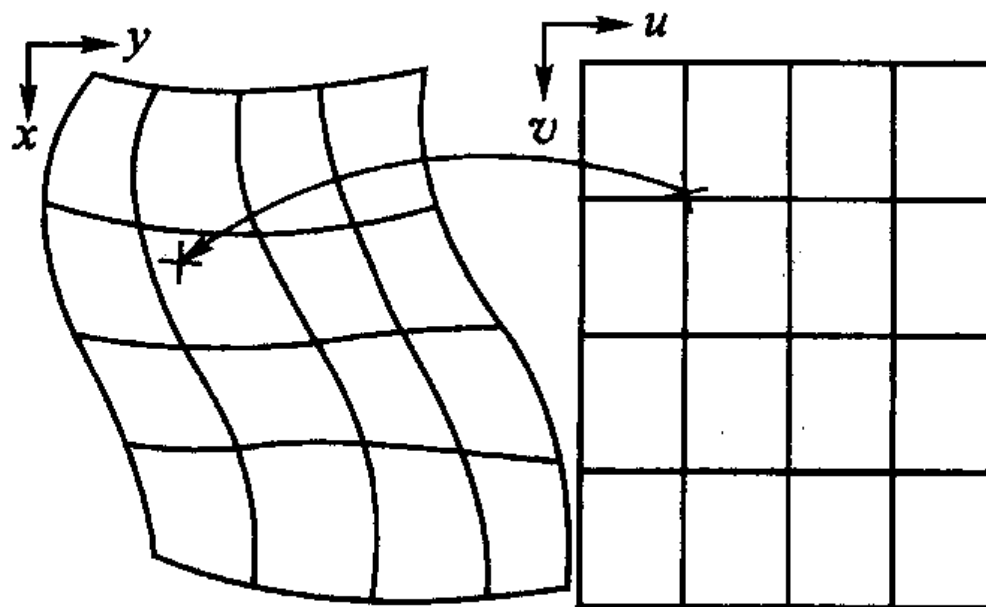
- 几何畸变有多种校正方法，但常用的是一种通用的精校正方法、适合在地形平坦，不需要高程信息，或地面起伏较大而无高程信息。
- 校正后的图像是由等间距的网格点组成，且以地面为标准，符合某种投影的均匀分布，图像中格网的交点可以看作是像元的中心。

3

几何校正

➤ 多项式校正

a. 基本思路



(a) 校正前

(b) 校正后

3

几何校正

➤ 多项式校正

b. 具体步骤

1、寻找一种数学关系，建立变换前图象 (x, y) 与变换后图象坐标 (u, v) 的关系。

$$X = f_x(u, v)$$

$$Y = f_y(u, v)$$

2、计算每一点像元的亮度值，一般来说，新点亮度值介于邻点亮度值之间，所以常用内插法计算。

3

几何校正

➤ 多项式校正

c. 计算方法

为了确定校正后图像上每点的亮度值，只要求出其原图所对应点 (x, y) 的亮度。通常有三种方法：

- 最近邻法
- 双向线性内插法
- 三次卷积内插法

3

几何校正

➤ 多项式校正

c. 计算方法 -- 最近邻法

$$k = \text{Integer}(x + 0.5)$$

$$l = \text{Integer}(y + 0.5)$$

$g(k, l)$ 灰度值就作为点 (x, y) 的灰度值

优点：方法简单，计算量小；

缺点：处理后的图像亮度不具连续性，影响地物的精确度。

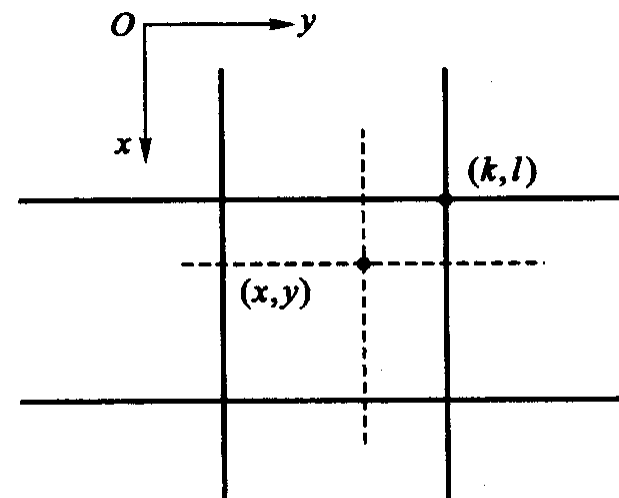
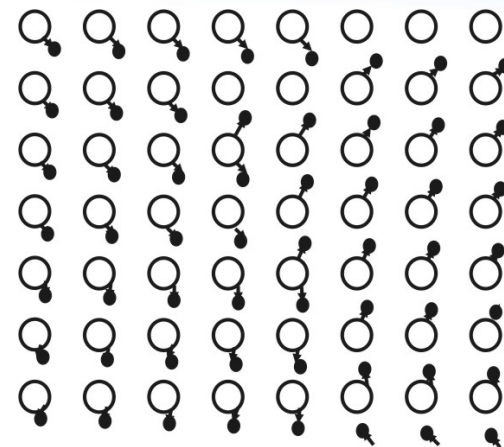


图 4.28 最近邻法

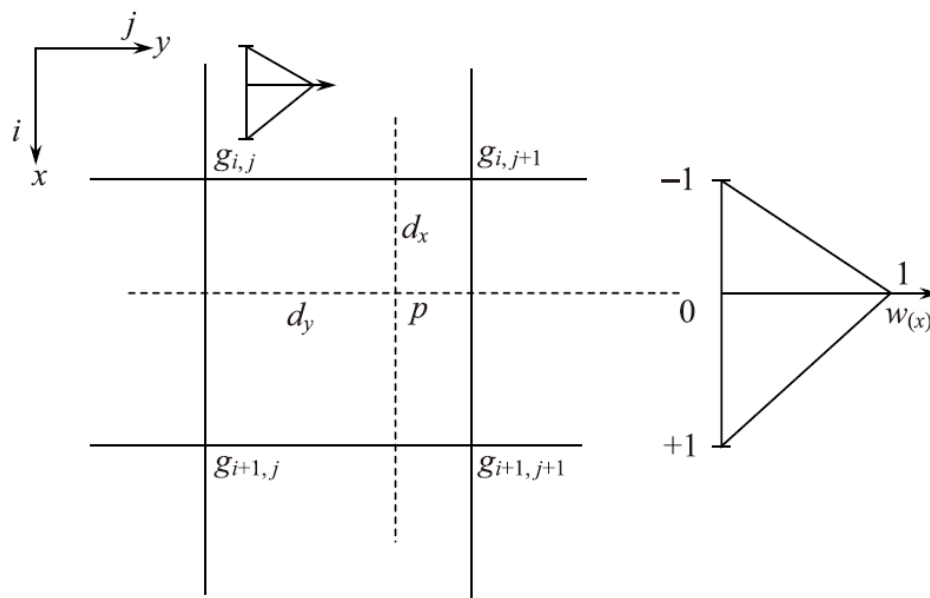
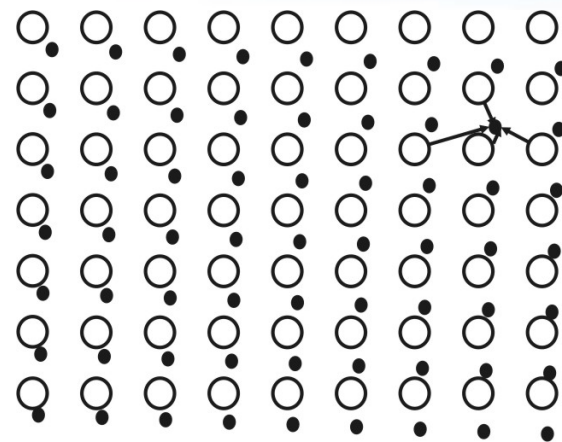
3

几何校正

➤ 多项式校正

c. 计算方法 —— 双线性内插法

利用周边4个像元的亮度值确定
该像元亮度值



优点：精度提高；

缺点：对亮度起平滑作用，
本身明显的分界线模糊。

图 6.7 双线性内插法

3

几何校正

➤ 多项式校正

c. 计算方法 —— 三次卷积内插法

利用周边**16**个像元的亮度值确定该像元亮度值

优点：图像质量细节清楚；

缺点：计算量大

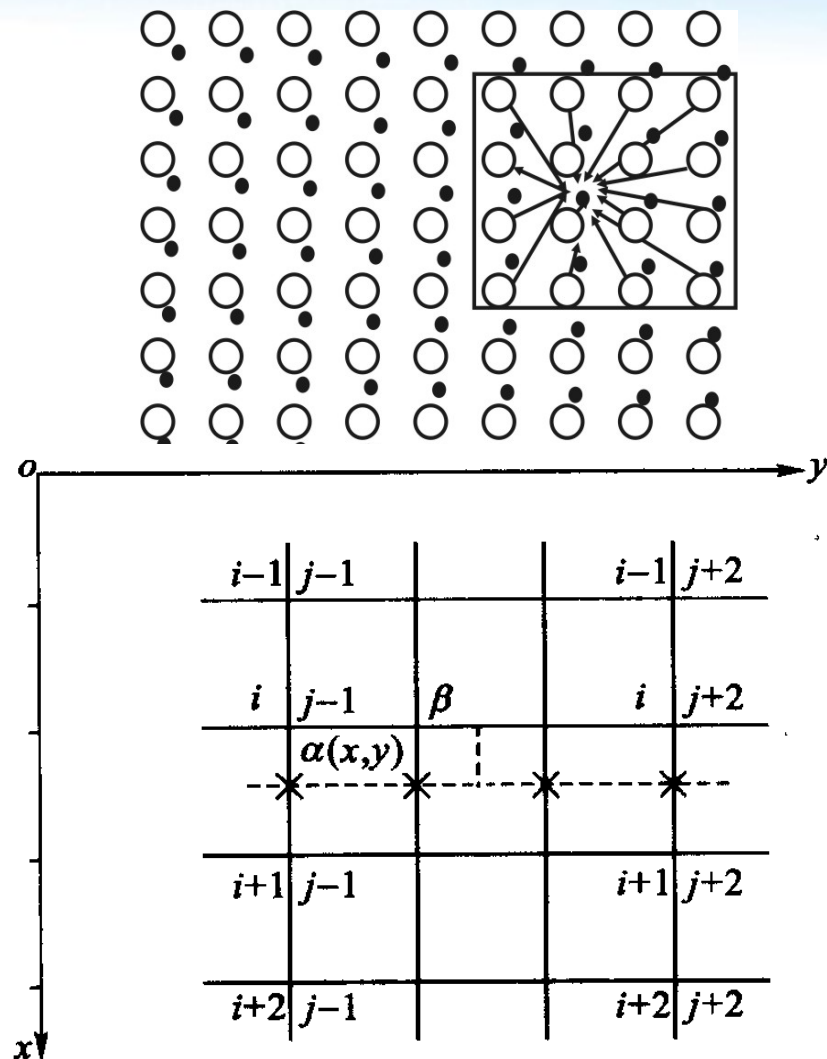


图 4.30 三次卷积内插法

3

几何校正

➤ 多项式校正

c. 计算方法 —— 三种方法比较

方法	优点	缺点	提醒
最邻近法	简单易用，计算量小	处理后的图像亮度具有不连续性，影响精确度	
双线性内插法	精度明显提高，特别是对亮度不连续现象或线状特征的块状化现象有明显的改善。	计算量增加，且对图像起到平滑作用，从而使对比度明显的分界线变得模糊。	鉴于该方法的计算量和精度适中，只要不影响应用所需的精度，作为可取的方法而常被采用。
三次卷积内插	更好的图像质量，细节表现更为清楚。	计算量很大。	欲以三次卷积内插获得好的图像效果，就要求位置校正过程更准确，即对控制点选取的均匀性要求更高。

3

几何校正

➤ 多项式校正

c. 计算方法 -- 三种方法比较



原始影像



最临近法



双线性内插



三次卷积

3

几何校正

➤ 多项式校正

d. 控制点的选取

1) 控制点数目的确定

n 次多项式，控制点的最少数目为 $(n+1)(n+2)/2$ 。

一次多项式至少需要3个控制点

二次多项式至少需要6个控制点

三次多项式至少需要10个控制点

一般 $(n+1)(n+2)/2$ 个控制点只是解线性方程所需的理论最少的点，这样少的点使校正后的图象效果很差。控制点增加，计算方法改进，采用最小二乘法，通过对控制点数据进行曲面拟合来求系数。

在条件允许的情况下，控制点数的选取都要大于最低数很多。

3

几何校正

➤ 多项式校正

d. 控制点的选取

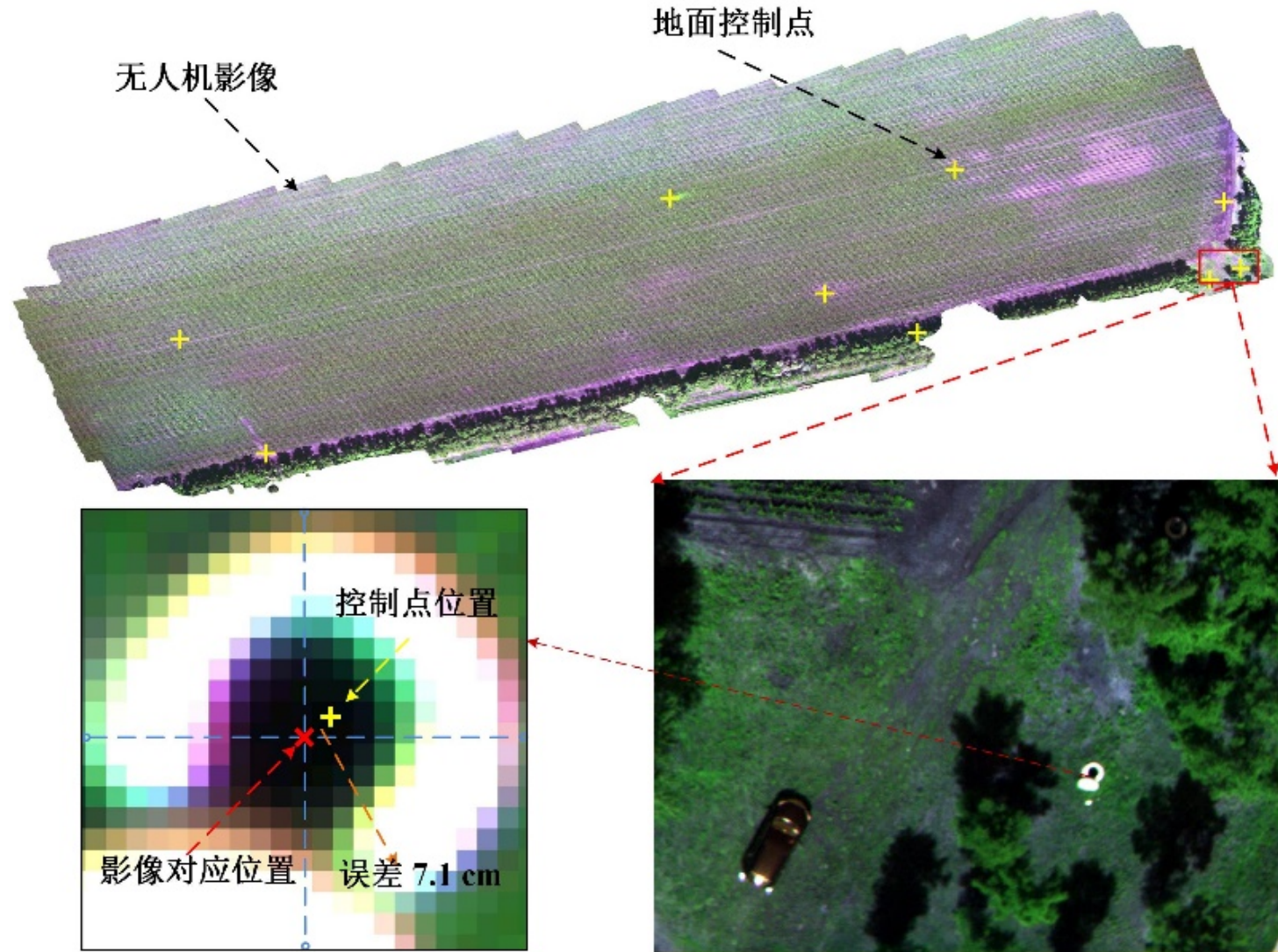
2) 控制点的选取原则

- 控制点的选择要以配准对象为依据，以地面坐标为匹配标准。
- 选取易分辨且较精细的特征点：道路交叉口、桥河叉点、独立建筑物、城廓边界、飞机场等。
- 控制点要均匀分布。

3

几何校正

控制点及其作用：



3

几何校正

➤ Landsat 预处理级别:

Level 1: 经过**辐射校正**，但没有经过几何校正的产品数据，并将卫星下行扫描行数据反转后按标称位置排列。Level 1产品也称为**辐射校正产品**。

Level 2: 经过**辐射校正和几何校正**的产品数据，并将校正后的图像数据映射到指定的**地图投影坐标**下。Level 2产品也称为**系统校正产品**。在地势起伏小的区域，Landsat—7系统校正产品的几何精度可以达到250米以内，Landsat—5系统校正产品的几何精度取决于预测星历数据的精度。

Level 3: 经过**辐射校正和几何校正**的产品数据，同时**采用地面控制点改进产品的几何精度**。Level 3产品也称为**几何精校正产品**。几何精校正产品的几何精度取决于地面控制点的可用性。

Level 4: 经过**辐射校正、几何校正和几何精校正**的产品数据，同时采用数字高程模型（DEM）**纠正地势起伏造成的视差**。Level 4产品也称为**高程校正产品**。高程校正产品的几何精度取决于地面控制点的可用性和DEM数据的分辨率。

4

图像增强

➤ 图像增强的目的

- 增强目视效果
- 提高图像质量和突出所需信息，有利于分析判读或作进一步的处理。

➤ 数字图像增强的方法

有对比度变换、空间滤波、彩色变换、图像运算、多光谱变换等等。

4

图像增强

➤ 直方图

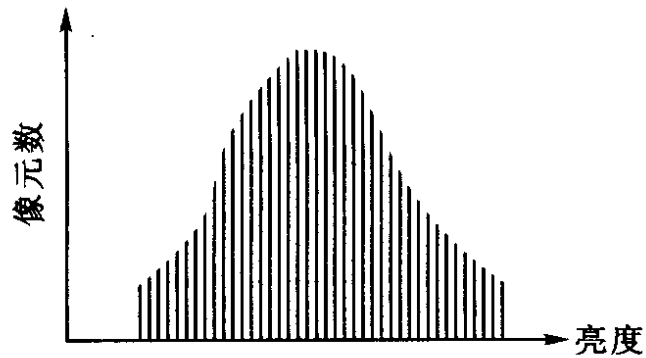
- 直方图以图像**亮度值**和**像元统计值**所做的统计图。每一副图像都可以求出其像元亮度值的直方图，观察直方图的形态，可以粗略地分析图像的质量。
- 直方图的**峰值偏向坐标左侧**，说明图像**偏暗**。峰值偏向坐标**右侧**，则说明图像**偏亮**。**峰值提升过陡、过窄**，说明图像的高密度值过于集中，造成图像对比度较小，图像质量差。



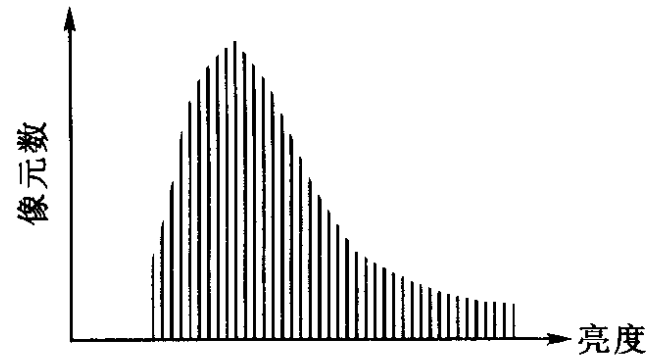
4

图像增强

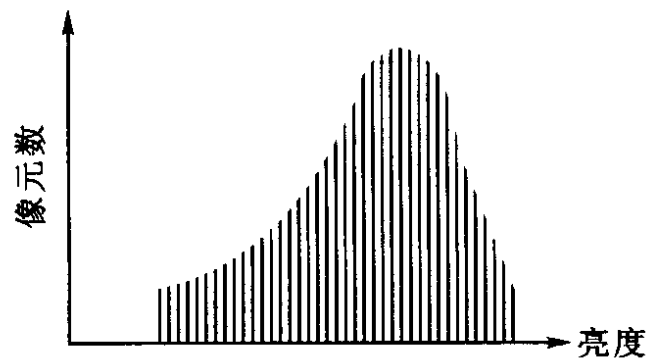
➤ 直方图



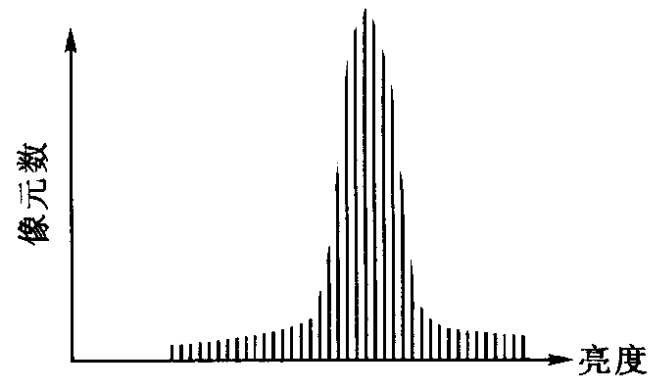
(a) 正常



(b) 偏暗



(c) 偏亮



(d) 亮度过于集中

4

图像增强

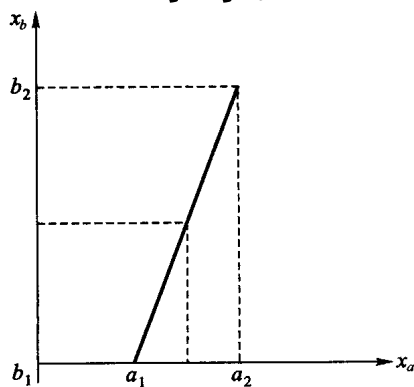
➤ 图像拉伸

- 图像拉伸是一种通过改变图像像元的亮度值来改变图像像元对比度，从而改善图像质量的图像处理方法。它可以将图像中过于集中的像元分布区域（亮度值分布范围）拉开扩展，扩大范围反差的对比度，增强图像表现的层次性。
- 根据图像拉伸函数的不同类型，可以分为线性拉伸和非线性拉伸。

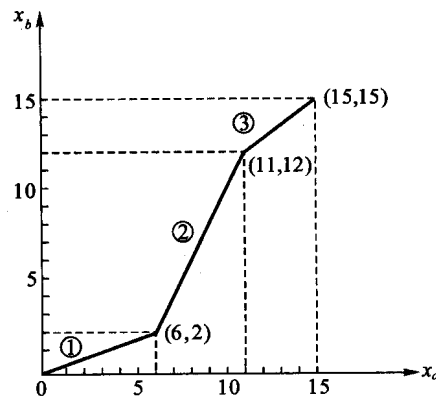
4 图像增强

➤ 对比度拉伸

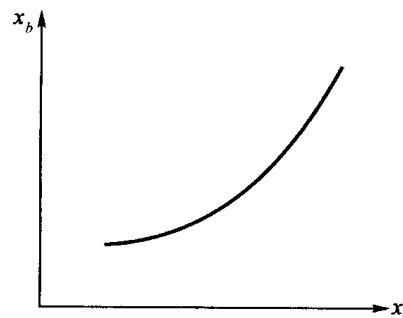
- 对比度（又称反差），常用来描述一幅图像亮度值差异的程度。
- 线性变换的变换函数是线性或分段线性。
- 常用的非线性变换有指数变换、对数变换、高斯变换、正切变换等等。



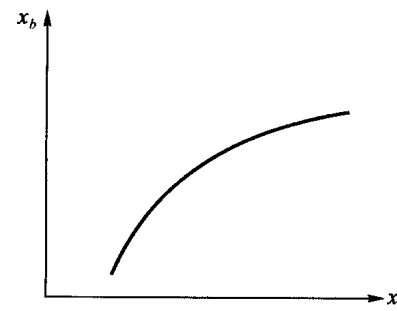
线性变换



分段变换



指数变换



对数变换



图像增强

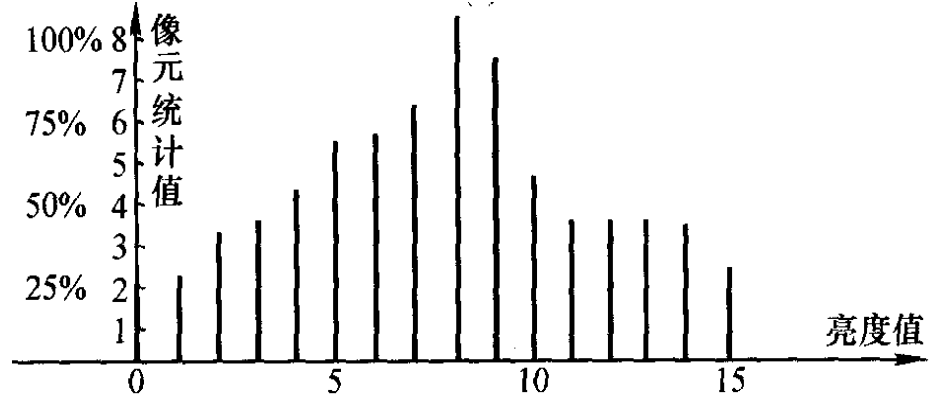
4

最小值

0	5	8	10	13	14	14	13
5	0	4	9	14	15	12	11
6	2	10	10	13	15	15	12
6	8	9	9	10	12	11	8
5	8	8	9	9	9	11	9
5	7	7	8	8	7	7	8
3	4	7	6	6	3	4	5
1	1	4	6	7	3	2	2

最大值

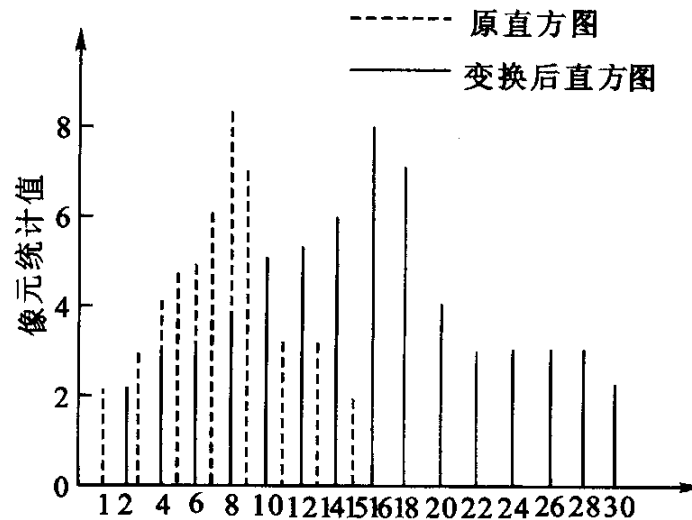
直方图



变换前

变换后

0	10	16	20	26	28	28	26
10	0	8	18	28	30	24	22
12	4	20	20	26	30	30	24
12	16	18	18	20	24	22	16
10	16	16	18	18	18	22	18
10	14	14	16	16	14	14	16
6	8	14	12	12	6	8	10
2	2	8	12	14	6	4	4



4

图像增强

用linear 2% 变换前后的影像比较



变换前



变换后

4

图像增强

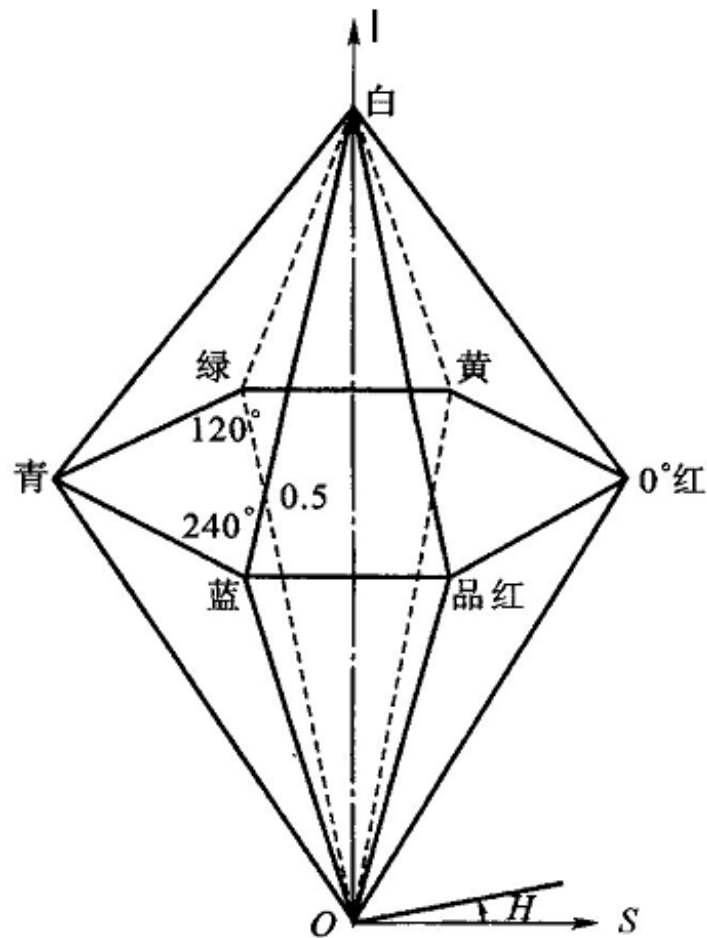
➤ 直方图均衡化和规定化

- 由于成像的原因，有些遥感图像的灰度值集中在较窄的范围内，表现为图像对比度低、细节不够清晰，为了拉开灰度值的分布范围或使灰度值均匀分布，增大反差，使图像细节清晰，通常采用直方图均衡化及直方图规定化变换方法。
- 直方图均衡化是将图像进行拉伸处理，使直方图变为均匀的直方图，从而获得一幅灰度分布均匀的新图像。直方图规定化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。

4

► HLS变换

- H——hue(色调), 是色彩彼此相互区分的特性。
- L——light (明度), 是人眼对光源或物体明亮程度的感觉。一般来说, 物体反射率越高, 明度就越高。
- S——saturation(饱和度), 是彩色纯洁的程度。对于光源, 发出的若是单色光就是最饱和的彩色。
- 黑白色只用明度描述, 不用色调、饱和度描述。



4

图像增强

➤ 图像卷积运算

目的：在空间上对图像进行局部检测运算——平滑、锐化

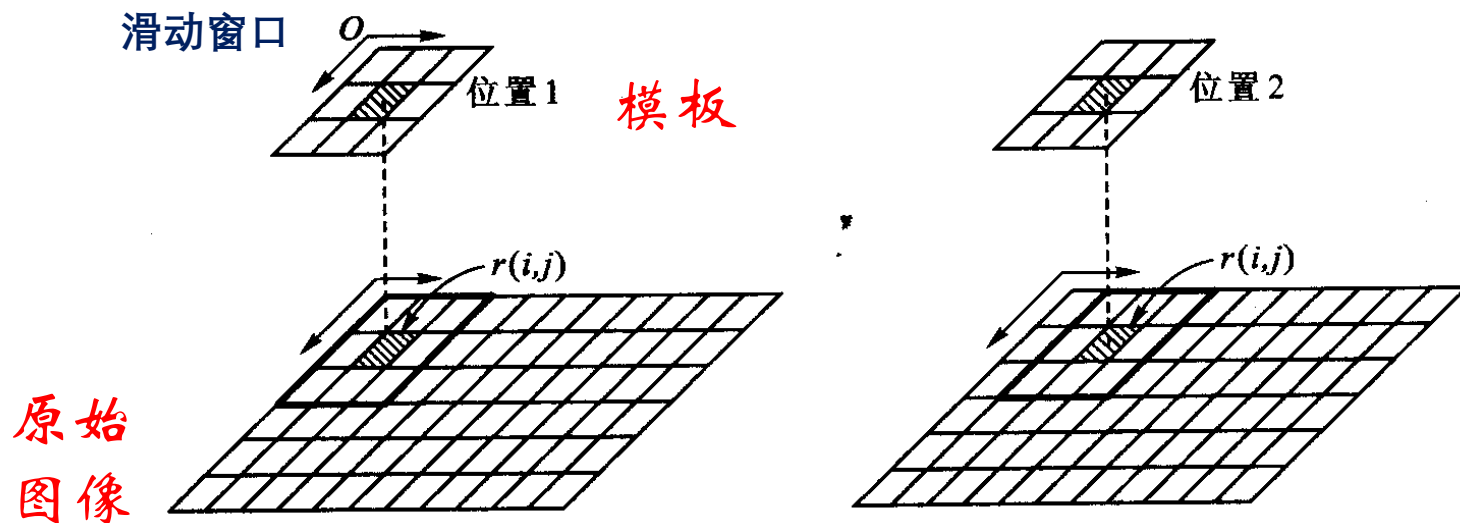


图 4.38 模板移动

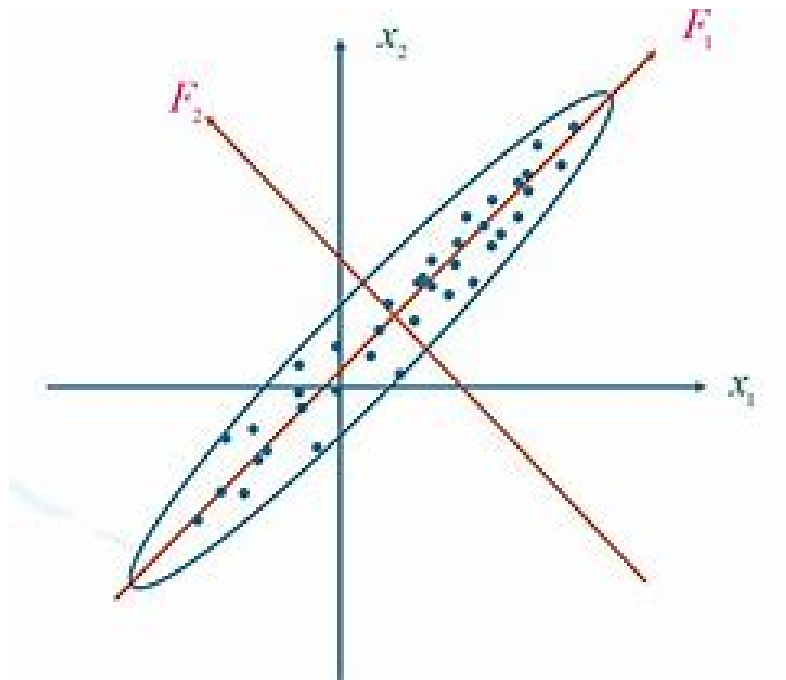


4

图像增强

➤ 主成分分析

主成分分析法是一种空间映射的方法，将在常规正交坐标系的变量通过矩阵变换操作**映射**到另一个正交坐标系中的主元。做这个映射的目的是为了**减少**变量间的线性相关性。



5

图像的彩色合成与变换

为了充分利用色彩在遥感图像判读和信息提取中的优势，常常利用彩色合成的方法对多光谱图像进行处理，以得到彩色图像。

真彩色合成——影像的颜色与地物颜色基本一致

假彩色合成——影像的色调与实际地物色调不一致

伪彩色合成——单色波段的图像分割间隔赋予不同颜色进行彩色显示

5

图像的彩色合成与变换



福建师范大学
FUJIAN NORMAL UNIVERSITY



真彩色合成图像 321



标准假彩色合成图像 432



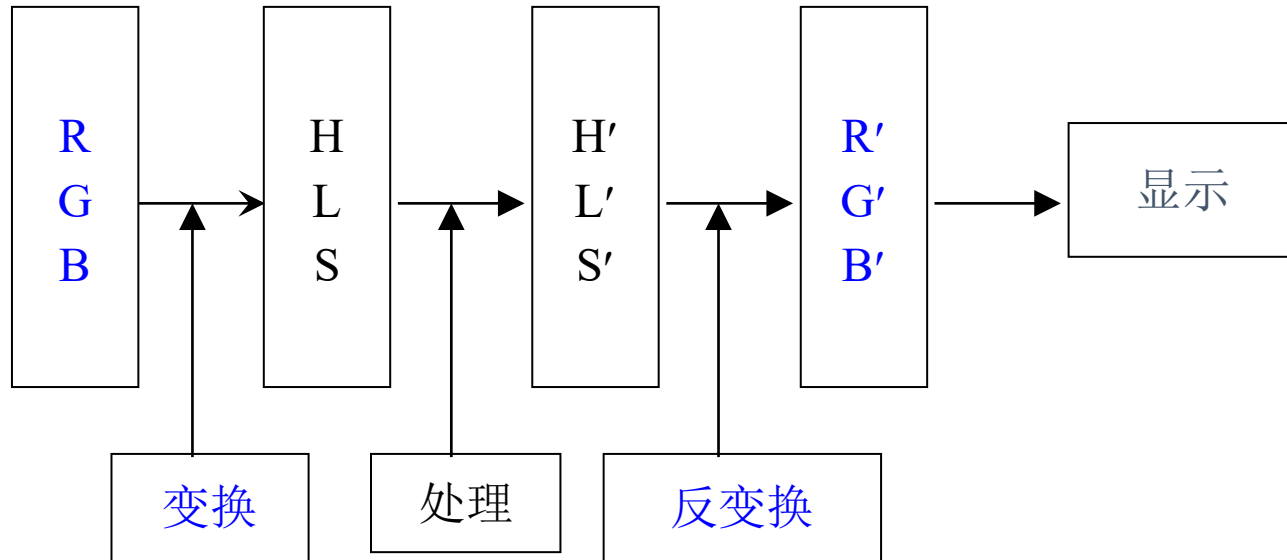
假彩色合成图像 543



5

图像的彩色合成与变换

➤ HLS彩色空间变换过程

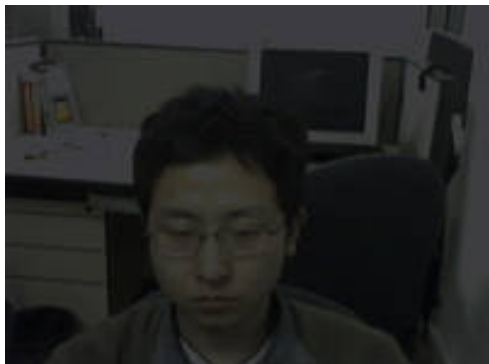


5

图像的彩色合成与变换



色度H变化



亮度L变化



饱和度S变化



6

空间域增强

空间域增强是在被处理像元周围的像元参与下进行的运算处理。又叫滤波处理，邻域的范围取决于滤波器的大小，如 3×3 或 5×5 等。

➤ 平滑

目的：去除图像噪声

基本思想：是将每个像元在以其为中心的区域内，取一定像元的平均值来代替该像元的值，从而平滑图像细节，降低图像反差。

具体计算时常用 3×3 的模板作卷积运算，其模板为

$$t(m,n)= \begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix}$$

(1) 均值平滑

(2) 中值平滑

6

空间域增强

➤ 锐化

锐化是平滑的相反增强处理方法，它增强图像中的高频成分，在频域处理中称为高通滤波，也就是使图像边缘、线状目标地物，或某些亮度变化大的区域，更加突出出来，也称边缘增强（检测）。

-1
2
-1

-1	2	-1
----	---	----

(a)

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

(b)

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

(c)

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	24	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1

(d)

$$t(m,n) = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

水平边界

$$t(m,n) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

垂直边界



空间域增强

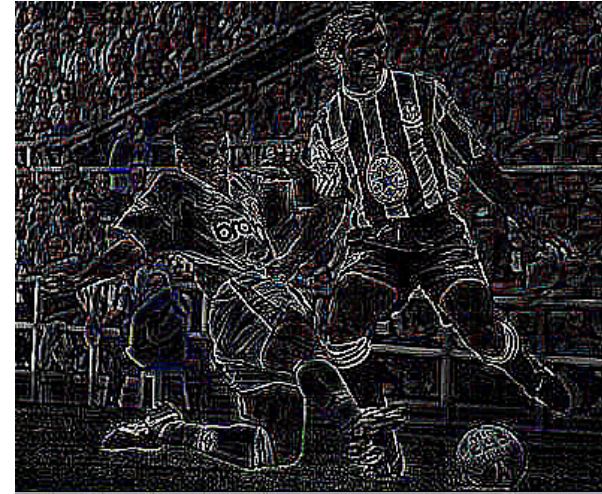
6

最低值平滑



Man City's Richard Edgill tackles Newcastle's David Ginola at St James Park. City lost the match 3-1 Picture: REUTERS

3*3锐化



Man City's Richard Edgill tackles Newcastle's David Ginola at St James Park. City lost the match 3-1 Picture: REUTERS

3*3平滑



Man City's Richard Edgill tackles Newcastle's David Ginola at St James Park. City lost the match 3-1 Picture: REUTERS

5*5平滑



Man City's Richard Edgill tackles Newcastle's David Ginola at St James Park. City lost the match 3-1 Picture: REUTERS

7

光谱变换与增强

多波段数据通过一系列运算，可以实现图像增强，达到提取某些信息或去掉某些不必要信息的目的。

➤ **差值运算** $f_D(x, y) = f_1(x, y) - f_2(x, y)$

➤ **比值运算** $f_R(x, y) = \frac{f_1(x, y)}{f_2(x, y)}$

植被指数就是由多光谱数据，经线性和非线性组合构成的对植被有一定意义的各种数值。

7

光谱变换与增强

➤ 植被指数

(1) 比值植被指数 (RVI)

- 被定义为近红外波段与可见光红波段数值之比，即 $RVI = IR/R$ 。（ NIR/Red ）
- RVI更适合应用于植被发展高度旺盛、具有高覆盖度的植被监测。

(2) 归一化植被指数 (NDVI)

- 被定义为近红外波段与可见光红波段数值之差和这两个波段数值之和的比值，即 $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ 。
- 该指数常被用来进行区域和全球的植被状态研究。

➤ 多波段压缩处理

- 多光谱图像波段多，信息量大，这对于图像解译有很大帮助。但另一方面，一些波段之间存在不同程度的相关性，即数据冗余。通过多光谱变换，可以保留主要信息、减少数据量、增强有用信息、改善图像的信噪比、常用的变换有K-L变换、K-T变换等。

➤ K-L变换（主成分变换）

它的主要特性有二：

- A. 能够把原来多个波段中的有用信息尽量集中到数目尽可能少的新的组分图像中。
- B. 还能够使新的组分图像中的组分之间互不相关，也就是说各个组分包含的信息内容是不重叠的。

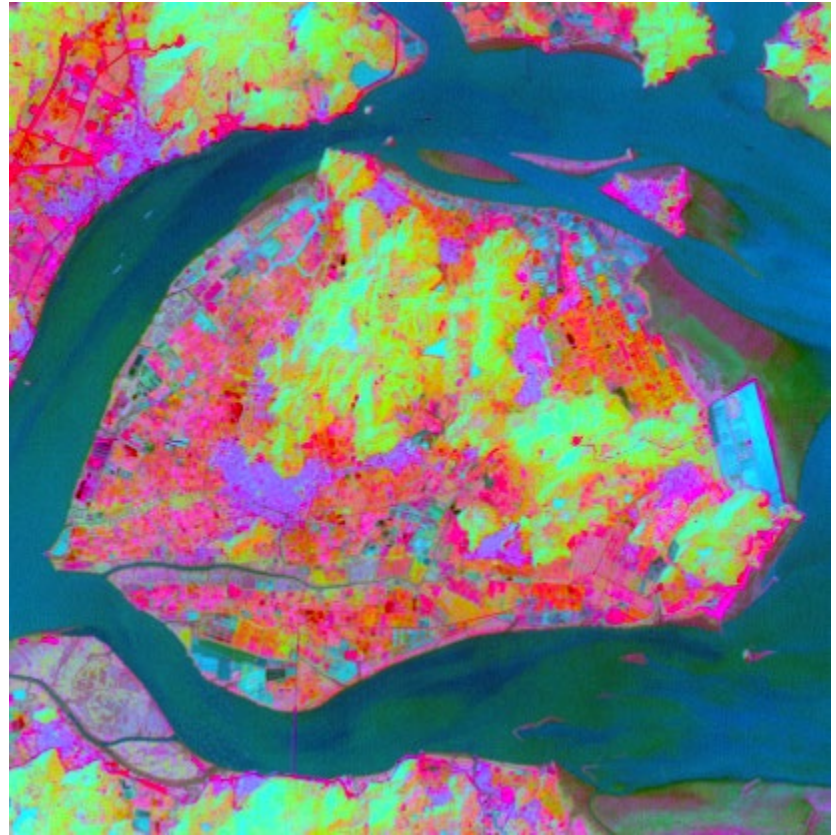


7 光谱变换与增强

➤ K-L变换 (主成分变换)



琅岐TM5、4、3合成影像



琅岐第一、二、三主成分合成影像

7

光谱变换与增强

➤ K-L变换（主成分变换）

- **K-L变换的特点：**就变换后的新波段主分量而言，它们所包括的信息量不同，呈逐渐减少趋势。事实上，第一主分量集中了最大的信息量，常常占80%以上。第二、三主分量的信息量依次很快递减，到了第 n 分量，信息几乎为零。由于K—L变换对不相关的噪声没有影响，所以信息减少时，便突出了噪声，最后的分量几乎全是噪声。所以这种变换又可分离出噪声。
- **K-L变换的缺点**是不能排除无用以至有碍的噪声和干扰因素。

7

光谱变换与增强

➤ K-T变换（缨帽变换）

K-T变换的特点：

- (1) 能够把原来多个波段中的有用信息压缩到较少的新的波段内。
- (2) 要求新波段正交或近似正交。
- (3) 分离或削弱无用的干扰因素。

7 光谱变换与增强

➤ K-T变换 (缨帽变换)

具体算法为：

- 亮度指数： $TMB = 0.3037 (TM1) + 0.2793 (TM2) + 0.4743 (TM3) + 0.5585 (TM4) + 0.5082 (TM5) + 0.1863 (TM7)$ ；
- 绿度指数： $TMG = -0.2848 (TM1) + 0.2435 (TM2) - 0.5436 (TM3) + 0.7243 (TM4) + 0.084 (TM5) - 0.18 (TM7)$ ；
- 湿度指数： $TMW = 0.1509 (TM1) + 0.1973 (TM2) + 0.3279 (TM3) + 0.3406 (TM4) - 0.7112 (TM5) - 0.4572 (TM7)$

7

光谱变换与增强

➤ K-T变换（缨帽变换）

特征	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
亮度	0.3037	0.2793	0.4743	0.5585	0.5082	0.1863
绿度	-0.2848	-0.2435	-0.5436	0.7243	0.084	-0.81
湿度	0.1509	0.1973	0.3279	0.3406	-0.7112	-0.4572
第四	-0.8242	0.0849	0.4392	-0.058	0.2012	-0.2768
第五	-0.3281	0.0549	0.1075	0.1855	-0.4357	0.8085
第六	0.1084	-0.9022	0.412	0.0573	-0.0251	0.0238

TM图像六个波段的缨帽变换系数

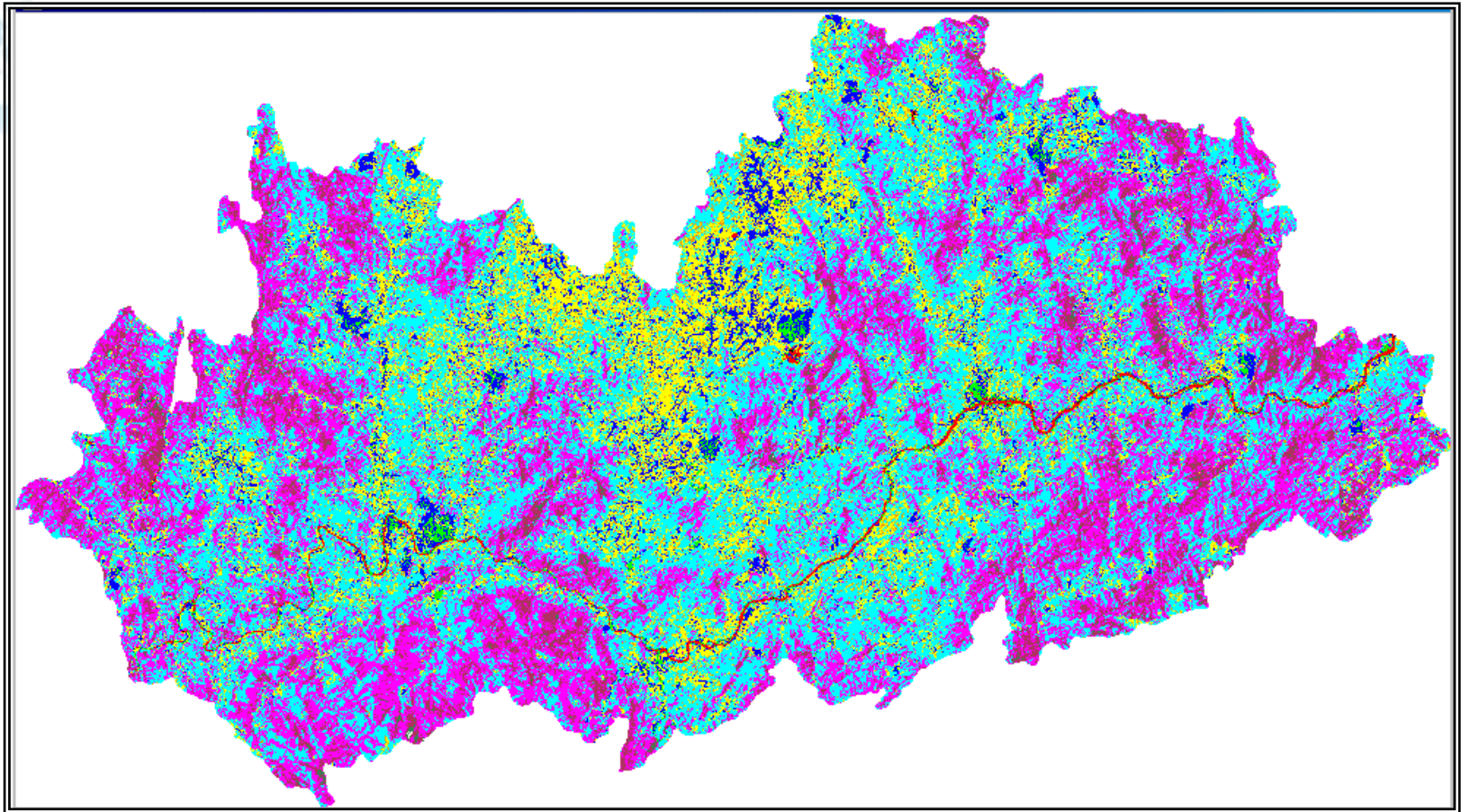
7 光谱变换与增强

➤ K-T变换（缨帽变换）

- TM数据处理后每个组分图像所代表的特征意义是亮度、绿度、湿度。
 - (1) 亮度是TM图像六个波段数据的加权和，代表总的反射比的差异。
 - (2) 绿度反映了可见光波段与近红外波段之间的差异，可以较好地反映植被状况。
 - (3) 湿度反映了1、2、3、4波段与5、7波段之间的对比。

7 光谱变换与增强

➤ K-T变换（缨帽变换）



永泰县缨帽变换中绿度CAPGREEN图