

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 241

扫描反射镜

- 扫描反射镜是一个表面镀银的椭圆形的铍反射镜，长轴为33cm，短轴为23cm。当仪器垂直观察地面时，来自地面的光线与进入聚光镜的光线成 90° 。扫描镜摆动的幅度为 $\pm 2.89^\circ$ ，摆动频率为13.62Hz，周期为73.42ms，它的总观测视场角为 11.56° 。
- 扫描镜的作用是获取垂直飞行方向两边共185km范围内的来自景物的辐射能量，配合飞行器的往前运行获得地表的二维图像。

15

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 242

反射镜组

- 反射镜组由主反射镜和次反射镜组成，焦距为82.3cm，第一反射镜的孔径为22.9cm，第二反射镜的孔径为8.9cm，相对孔径为3.6。
- 反射镜组的作用是将扫描镜反射进入的地面景物聚集在成像面上。

16

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 243

成像板

- 成像板上排列有24×2个玻璃纤维单元，按波段排列成四列，每列有6个纤维单元，每个纤维单元为扫描仪的瞬时视场的构像范围，由于瞬时视场为 $86\mu\text{rad}$ ，而卫星高度为915km，因此它观察到地面上的面积为 $79\text{m} \times 79\text{m}$ 。

$$915\text{km} \times 86\mu\text{rad} = 79\text{m}$$

17

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 244

探测器

- 探测器的作用是将辐射能转变成电信号输出。它的数量与成像板上的光学纤维单元的个数相同，所使用的类型与响应波长有关。
- MSS-4~6采用18个光电倍增管，
- MSS-7使用6个硅光电二极管，
- Landsat-2, 3的MSS8采用2个汞镉碲热敏探测器。
- 其致冷方式采用辐射致冷器致冷。经探测器检波后输出的模拟信号进入模数变换器进行数字化，再由发射机内调制器调制后向地面发送或记录在宽带磁带记录仪上。

18

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 245

MSS成像过程

- 扫描仪每个探测器的瞬时视场为 $86\mu\text{rad}$ ，卫星高为915km，因此扫描瞬间每个像元的地面分辨率为 $79\text{m} \times 79\text{m}$ ，每个波段由6个相同大小的探测单元与飞行方向平行排列，这样在瞬间看到的地面大小为 $474\text{m} \times 79\text{m}$ 。又由于扫描总视场为 11.56° ，地面宽度为185km，因此扫描一次每个波段获取6条扫描线图像，其地面范围为 $474\text{m} \times 185\text{km}$ 。又因扫描周期为73.42ms，卫星速度（地速）为6.5KM/s，在扫描一次的时间里卫星往前正好移动474m，因此扫描线恰好衔接。

19

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 246

MSS Scanning Arrangement

20

247

自西往东对地面的有效扫描时间为33ms，即在33ms内扫描地面的宽度为185km，按以上宽度计算，每9.958 μs内扫描镜视轴仅在地面上移动了56m，因此采样后的MSS像元空间分辨率为56m x 79m。（Landsat-4为68m x 83m）。

$$56m = 185km / 33ms \times 9.958\mu s$$

采样后对每个像元（每个信道的一次采样）采用6bit进行编码，24路输出共需144bit，都在9.958 μs内生成，反算成每个字节（6bit）所需的时间为0.3983 μs（其中包括同步信号约占0.3983 μs），每个bit为0.0664 μs，因此，bit速率约为15Mbit/s（15MHz）。采样后的数据用脉码调制方式以2229.5MHz或2265.5MHz的频率馈入天线向地面发送。

21

248

MSS产品

- 粗加工产品：它是经过了辐射校准（系统噪声改正）、几何校正（系统误差改正）、分幅注记（28.6s扫描390次分一幅）。
- 精加工产品：它是在粗加工的基础上，用地面控制点进行了纠正（去除了系统误差和偶然误差）。
- 特殊处理产品。

22

249

TM专题制图仪

23

250

TM成像过程

Thematic Mapper (TM) Sensor

24

251

TM各波段特征

波段	波长范围(μm)	辐射灵敏度	特征
TM1	0.45—0.52 (蓝)	0.8	这个波段的理想响应于清澈水的蓝色，长波端在叶绿素吸收区，这个波段对针叶林的识别比 Landsat-1,2,3 的能力更强
TM2	0.52—0.66(绿)	0.5	这个波段在两个叶绿素吸收带之间，因此相对于健康植物的绿色。该波段1和2合成，类似于水相性航空彩色胶片 SO-224，它显示水体的蓝绿比值，能识别浮游植物和浮游生物
TM3	0.63—0.690 (红)	0.5	这个波段为红色区，在叶绿素吸收区内。在可见光中这个波段是识别土壤边界和地质界线的最有利的光谱区，在这个区域，表面特征经云层遮挡出的反差，大气雾霾的影响比其它可见光谱段低，这样影像的分辨率较好
TM4	0.76—0.90(红外)	0.5	这个波段相应于植物的反射峰值，它对于植物的鉴别和评价十分有用。TM2与TM4的比值对绿色生物量和植物含水量敏感
TM5	1.55—1.75(红外)	1.0	在这个波段中叶面反射强烈地依赖于叶湿度。一般地说，这个波段在对收成中干旱的鉴别和植物生物量的确定是有用的，另外，1.55—1.75μm 区段水的吸收率很高，所以区分不同类型的岩石，区分云、地面冰和霜就十分有利，湿土和土壤的温度从这个波段上也很容易看出
TM6	10.4—12.6(热红外)	0.5	这个波段对于植物分类和估收很有用，在这个波段来自表面发射的辐射量，按照发射本领和温度(表面的)未测定，这个波段可用于热制图和热容量制图实验
TM7	2.08—2.35(红外)	2.0	这个波段主要的价值是用于地质制图，特别是热液岩带的制图，它同样可用于识别植物的长势

25

252

ETM+增强型专题制图仪

波段号	类型	波段范围/μm	地面分辨率
1	Blue-Green	0:450-0.515	30m
2	Green	0:525-0.605	30m
3	Red	0:630-0.69	30m
4	Near IR	0:775-0.90	30m
5	SWIR	1:550-1.75	30m
6	LWIR	10.40-12.5	60m
7	SWIR	2:090-2.35	30m
8	Pan	0:520-0.90	15m

26

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 253

TM、MSS、ETM+的比较

MSS扫描方向不垂直于飞行方向，去扫回不扫，存在全景变形，24+2个玻璃纤维单元，5个波段：绿色、红色、两个红外波段、一个热红外波段。
分辨率：80m (79m、83m)；热红外：120×120m。

TM中增加了一个扫描改正器，使扫描行垂直于飞行轨道，往返双向都对地扫描，存在全景变形，探测器共100个(16×6+4)，分7个波段：蓝、绿、红、三个红外波段、一个热红外波段。
分辨率：30×30m；热红外：120×120m。

ETM+：辐射定标精度提高，辐射校正有了很大改进。8个波段，增加了PAN(全色)波段，分辨率15m，远红外波段为60m。

27

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 254

3.1.2 对像面扫描的成像仪

- HRV——线阵列推扫式扫描仪



Steerable Mirror, CCD detector, Oblique Vertical Oblique viewing viewing viewing, NASA/CRES

28

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 255

SPOT上的HRV

- 多光谱型的HRV
 - 三个波谱段，每个波谱段的线阵列探测器组由3000个CCD元件组成。每个元件形成的像元地面分辨率为20×20m。因此一行CCD探测器形成的图像线，相对地面上为20×60m。
 - 波段1：0.5~0.59 μm
 - 波段2：0.61~0.68 μm
 - 波段3：0.79~0.89 μm
- 全色的HRV
 - 由6000个CCD元件组成一行。地面上总的视场宽度仍为60km，因此每个像元地面的大小为10m×10m。
 - 波段范围：0.51~0.73 μm

29

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 256

像面扫描

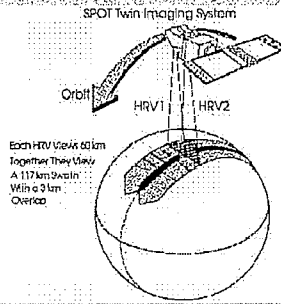
- 用电子枪准确地瞄准靶极上的点并对靶面进行扫描(所以又称电子扫描成像为像面扫描成像)。靶面上点从电子束中摄取电子，使靶极达到零电位。从电子枪中射出的电子束的电子数目是固定不变的，但靶面各点吸收电子的数目却因各点的电位高低而不同，返回的剩余电子数形成了图像信号，即图像的亮点，使靶面上对应点的电位高，则从电子束中吸收的电子数就多，剩余返回的电子数少；反之，电子数多。于是，返回电子数的多少就反映了图像上各点的暗亮程度。

30

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 257

立体观测方式

- HRV
 - 平面反射镜可绕指向卫星前进方向的滚动轴(x)轴旋转，从而在不同的轨道间实现立体观测
- HRG
 - 通过侧摆可在不同轨道上形成异轨立体
- HRS
 - 由前视后视相机组成，形成同轨立体



SPOT Twin Imaging System, Orbit, HRV1, HRV2, Each HRV View 60 km, Together They View A 117 km Swath With a 3 km Overlap

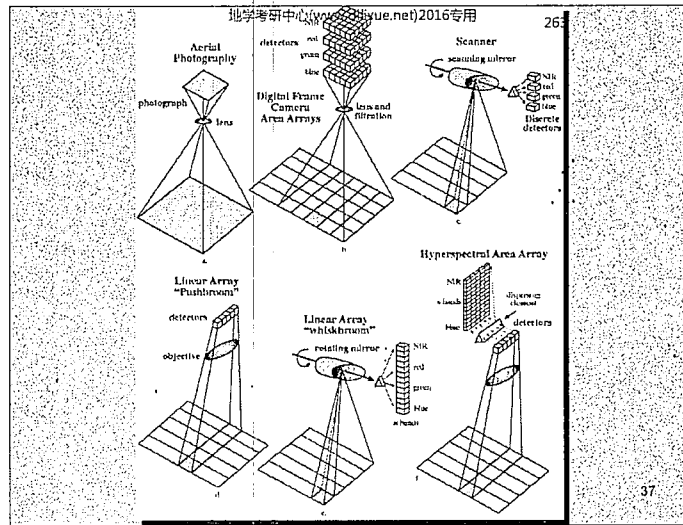
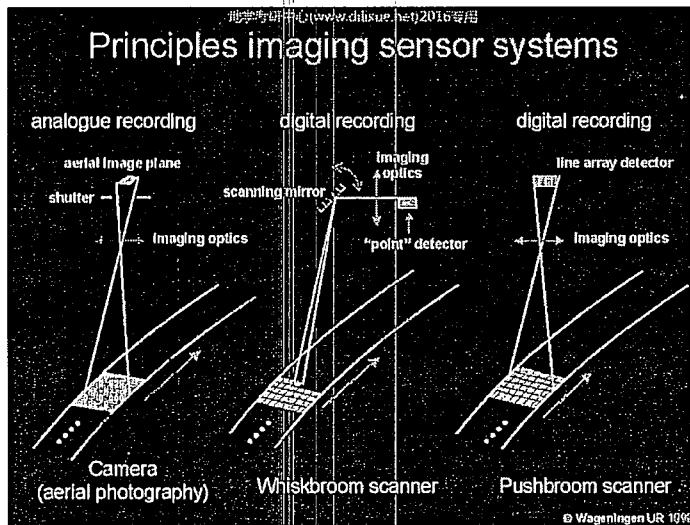
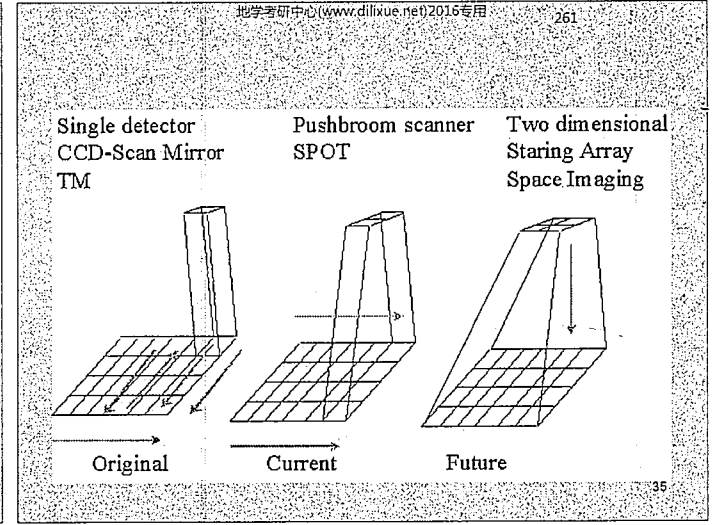
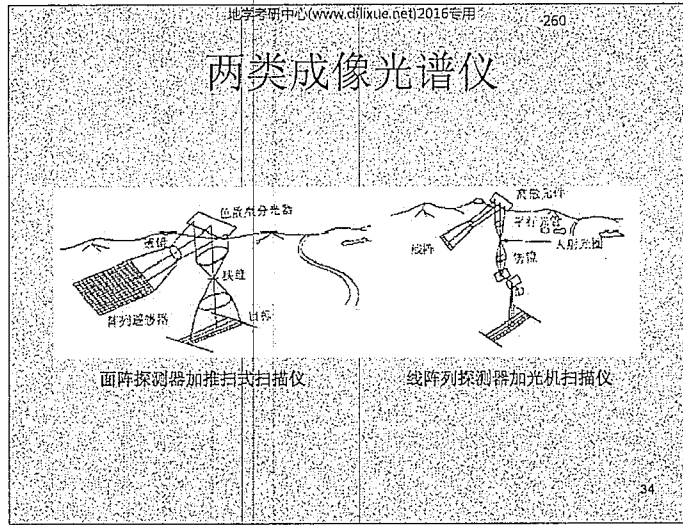
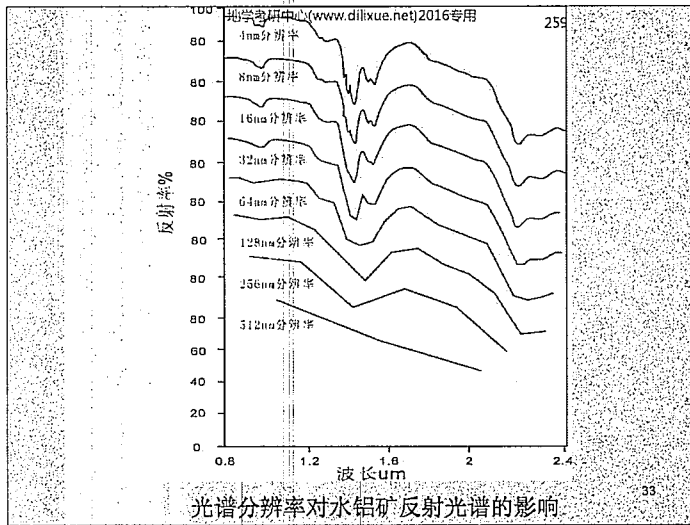
31

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 258

3.1.3 成像光谱仪

- 以多路、连续并具有高光谱分辨率方式获取图像信息的仪器。
 - 通过将传统的空间成像技术和地物光谱技术有机地结合在一起，可以实现对同一地区同时获取几十个到几百个波段的地物反射光谱图像。
- 基本上属于多光谱扫描仪，其构造与CCD线阵列推扫式扫描仪和多光谱扫描仪相同，区别仅在于通道数多，各通道的波段宽度很窄。

32



264

3.2 雷达成像仪

- 特点
 - 主动式遥感
 - 雷达信号 (距离、方位、相对速度、反射特性)
 - 穿透特性
- 分类
 - 真实孔径雷达 (Radar)
 - 合成孔径雷达 (SAR)
 - 相干雷达 (INSAR)
 - 激光雷达 (LIDAR: Light detection and ranging.)

激光雷达技术复杂、研制周期长，设备昂贵，因此要发展它不仅需要有关的高级专门人才，还要有雄厚的经济基础。它就使它普及起来很困难，目前它主要应用于科学研究方面。

38

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 265

- 雷达接收到的回波强度是系统参数和地面目标参数的复杂函数。
- 系统参数：
 - 雷达波的波长
 - 发射功率
 - 照射面积和方向
 - 极化等
- 地面目标参数与地物的复介电常数、地面粗糙度等

39

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 266 Polarization

40

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 267

Polarization

• Transmit	Receive	Together
• V	H	VH
• H	V	HV
• V	V	VV
• H	H	HH

41

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 268

3.2.1 真实孔径雷达

(远区) (近区)

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 269

真实孔径雷达分辨率

地距分辨率: $R_r = \frac{c\tau}{2} \sec \phi$

斜距分辨率: $R_s = \frac{c\tau}{2}$

τ : 脉冲宽度
 ϕ : 俯角

方位分辨率: $R_a = \beta R = \frac{\lambda}{D} R$

B: 波瓣角
R: 斜距
 λ : 波长成正比
D: 天线孔径

43

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 270

3.2.2 合成孔径雷达

• 基本思想：用一个小天线作为单个辐射单元，将此单元沿一直线不断移动。在移动中选择若干个位置，在每个位置上发射一个信号，接收相应发射位置的回波信号贮存记录下来。存贮时同时保存接收信号的幅度和相位。

44

比较

- 真实孔径雷达天线的长度是实际长度，雷达波的发射和接收都是以其自身有效长度的效率直接反映到显示纪录中；合成孔径雷达用小天线作为单个辐射单元，记录每个反射信号。
- 真实孔径天线在一个位置上接收目标的回波；合成孔径天线是在不同位置上接收同一地物的回波信号。
- 真实孔径天线接收目标回波后，好像物镜那样聚合成像，合成孔径天线对同一目标的信号不是在同一时刻得到，在每一个位置上都要记录一个回波信号。

46

SAR的方位分辨率

方位分辨率定义：

$$R_r = \frac{\lambda}{L_s} R$$

合成后天线孔径为：

$$L_s = R_r = \frac{\lambda}{D} R$$

SAR方位分辨率：

$$R_r = D$$

合成孔径雷达的方位分辨率与距离无关，只与实际使用的天线孔径有关

由于双程相移：

$$R_r = D/2$$

46

47

$$R_r = \frac{\lambda}{D} R = \frac{4\text{cm}}{8\text{m}} 400\text{km} = 2\text{km}$$

$$R_r = \frac{D}{2} = \frac{8\text{m}}{2} = 4\text{m}$$

3.2.3 侧视雷达图像的几何特征

- 斜距投影

侧视雷达图像在垂直飞行方向(y)的像点位置是以飞机的目标的斜距来确定，称之为斜距投影。图像点的斜距算至地面距离为：

$$G = r \cos \varphi = \sqrt{R^2 - H^2}$$

48

几何特点

- 垂直于飞行方向的比例尺
- 变形——压缩与拉长
- 高差产生的投影差
- 雷达立体图像的构像特点

48

垂直于飞行方向的比例尺

$$\frac{1}{m_{ab}} = \frac{ab}{AB} = \cos \varphi_b$$

$$\frac{1}{m_{bc}} = \frac{bc}{BC} = \cos \varphi_c$$

表示为：

$$\frac{1}{m} = \cos \varphi$$

考虑到实测的斜距是按比例尺缩小为影像，因此在侧视方向上的比例尺为：

$$\frac{1}{m_y} = \frac{1}{m} \cos \varphi$$

50

277

比例尺大
比例尺小

51

278

变形—压缩与拉长

造成山体前倾，朝向传感器的山坡影像被压缩，而背向传感器的山坡被拉长，与中心投影相反。

还会出现不同地物点重影现象。地物点AC之间的山坡在雷达图像上被压缩，在中心投影像片上是拉伸，CD之间的山坡出现的现象正好相反。地物点A和B在雷达图像上出现重影，在中心投影像片中不会出现这种现象。

52

Geometric Distortions in RADAR

53

280

高差产生的投影差

高差产生的投影差与中心投影影像投影差位移的方向相反，位移量也不同。

$$\delta_h = R_p - R_p'$$

$$\delta_h = -R_p + \sqrt{R_p^2 - \Delta h^2} + 2H\Delta h$$

$\Delta h > 0$ 时， δ_h 大于0，反之为负。

投影差改正： $R_p' = R_p + \delta_h$

54

281

雷达立体图像的构像特点

- 从不同摄站对同一地区获取的雷达图像也能构成立体影像。由于是侧视，所以同一侧或异侧都能获取和构成立体像对。对同侧获取的雷达图像立体对，由于高差引起的投影差与中心投影片方向相反；
- 如果按摄影位置放置像片进行立体观测，看到的将是反立体图像；
- 将左右立体图像换位放置，看到的是正立体。

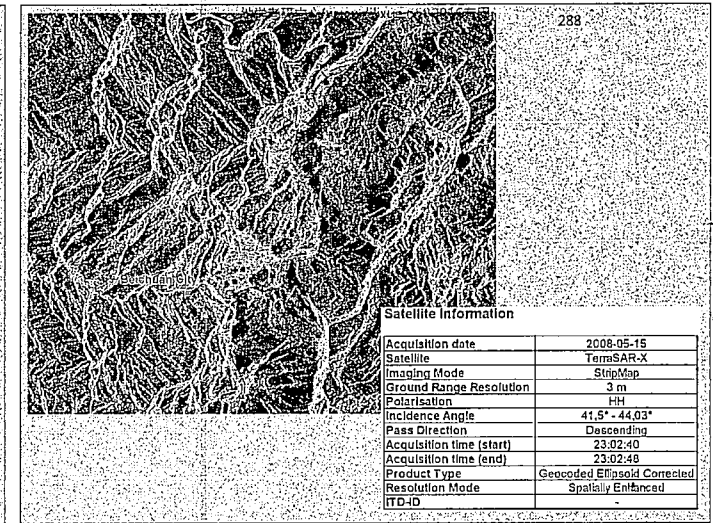
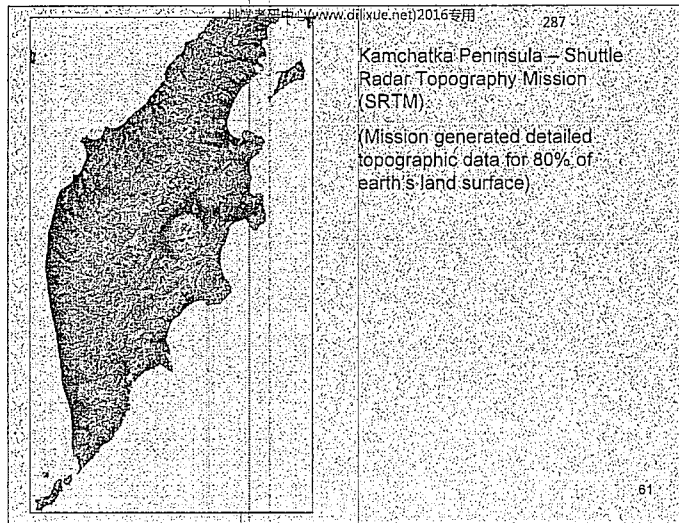
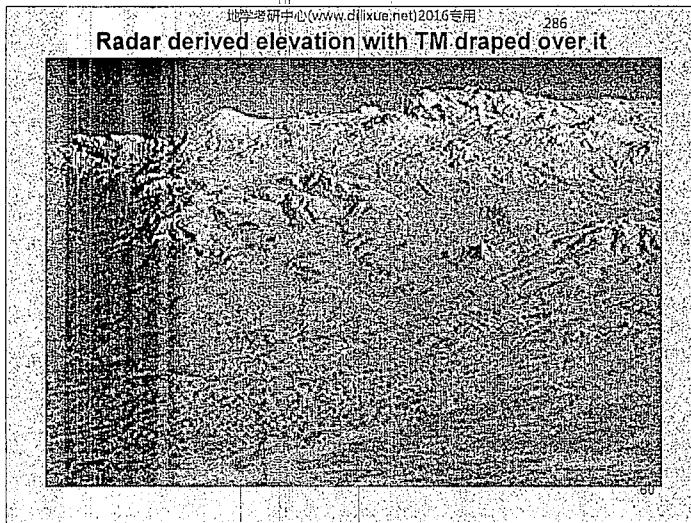
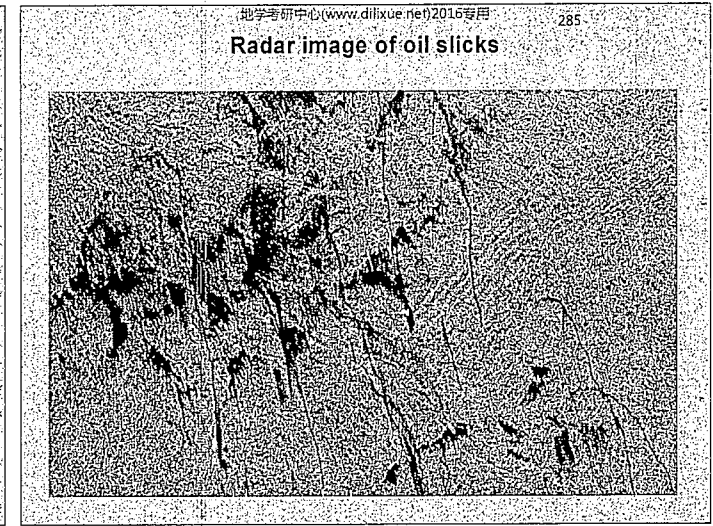
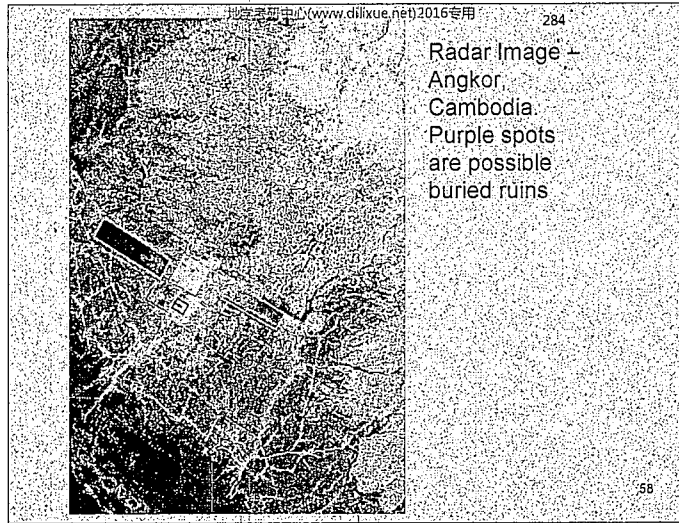
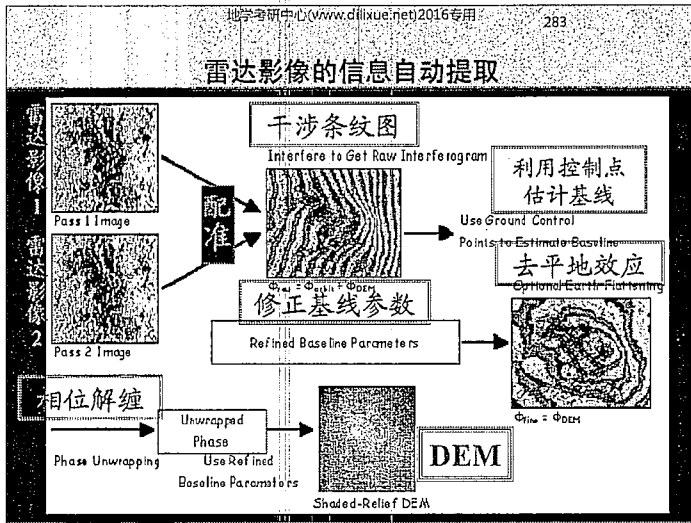
55

282

3.2.4 INSAR

- INSAR就是利用SAR在平行轨道上对同一地区获取两幅（或两幅以上）的单视复数影像来形成干涉，进而得到该地区的三维地表信息。该方法充分利用了雷达回波信号所携带的相位信息。
- 通过两幅天线同时观测：单轨道双天线横向或纵向模式
- 两次平行的观测：单天线重复轨道模式
- 获得同一区域的重复观测数据（复数影像对），综合起来形成干涉，得到相应的相位差，结合观测平台的轨道参数等提取高程信息，可以获取高精度、高分辨的地面高程信息，而且利用差分干涉技术可以精密测定地表沉降。

56



地理学研究中心(www.dilixue.net)2016专用 289

本章结束

63

地理学研究中心(www.dilixue.net)2016专用 290

第四章

遥感图像数字处理的基础知识

1

地理学研究中心(www.dilixue.net)2016专用 291

内容提纲

- 图像的表示形式
- 遥感数字图像的存贮
- 遥感数字图像处理系统
- 遥感图像处理系统与GIS和GPS的集成

2

地理学研究中心(www.dilixue.net)2016专用 292

4.1 图像的表现形式

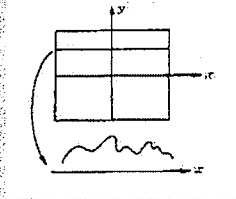
- 遥感传感器记录地物电磁波的形式
 - 胶片或其它光学成像载体形式 (光学图像)
 - 数字形式 (数字图像)

3

地理学研究中心(www.dilixue.net)2016专用 293

光学图像

- 一个二维的连续的光密度(透过率)函数
- 像片上的密度随坐标 x, y 变化而变化



4

地理学研究中心(www.dilixue.net)2016专用 294

数字图像

- 一个二维的离散的光密度(或亮度)函数
- 以矩阵 f_{ij} ($i=0,1,\dots,m-1; j=0,1,\dots,n-1$)表示数字图像
- 空间坐标 (x, y) 和密度上都已离散化

$f_{0,0}$	$f_{0,1}$	...	$f_{0,n-1}$
$f_{1,0}$	$f_{1,1}$	...	$f_{1,n-1}$
...
$f_{m-1,0}$	$f_{m-1,1}$	...	$f_{m-1,n-1}$

像素 $f_{i,j}$

灰度 行号 列号

5

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 295

数字图像

	0	1	2	3	4	5	6	...	...	...	...	...	n-1	...
0	16	14	10	8	2	3	1	...	30	22	24	18	15	...
1	16	16	6	12	8	6	4	...	32	32	40	45	45	...
2	16	16	14	14	11	15	17	...	24	24	32	34	38	...
3	16	16	16	16	14	14	8	...	16	22	24	28	36	...
4	15	9	4	16	15	17	17	...	14	12	10	12	22	...
5	13	7	12	15	16	19	18	...	16	14	12	14	18	...
6	12	10	11	14	13	8	7	...	16	10	8	14	26	...
...
...	36	30	28	28	30	30	30	...	16	16	26	24	8	...
...	34	36	32	24	22	22	22	...	28	24	24	20	6	...
m-1	36	32	20	20	26	28	26	...	26	22	24	20	22	...

6

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 296

69	78	72	76	85	73	73	70	71	65	67
74	86	85	255	255	255	255	255	70	67	68
71	72	255	41	63	76	95	92	255	68	65
87	255	53	47	74	79	81	80	76	255	72
86	255	74	99	141	118	78	69	69	255	77
89	255	65	113	192	186	141	79	77	255	77
105	100	255	122	217	231	196	95	255	77	67
124	91	74	255	255	255	255	92	71	86	...
126	96	85	151	219	216	216	204	142	85	73

7

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 297

光学图像与数字图像的转换

- 把一个连续的光密度函数变成一个离散的光密度函数
- 空间坐标离散化——采样
- 幅度（光密度）离散化——量化
- 整个过程称为图像数字化

8

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 298

采样

- 空间坐标数字化
- 采样间隔 ΔX 、 ΔY 的大小，取决于图像的频谱。如果抽样间隔满足 $\Delta \leq \frac{1}{2f_c}$ ，则图像能完整地恢复。 f_c 为截止频率。

9

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 299

量化

- 图像灰度的数字化
- 在连续灰度的极限取值范围内离散化，即将它分成若干个灰度等级值，像元灰度处于某两个相邻划分值之间时，用所对应的最靠近的一个灰度级值代替
- 用二进制位数（bit数）编码

10

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 300

采样和量化过程

11

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 301

采样和量化

采样 量化

12

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 302

采样和量化

采样 量化

13

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 303

彩色合成

red+green=cyan
green+blue=cyan
red+blue=magenta

14

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 304

彩色合成

$I = \begin{bmatrix} 0 & 150 & 200 \\ 120 & 50 & 180 \\ 250 & 220 & 100 \end{bmatrix}$

$R = \begin{bmatrix} 255 & 240 & 240 \\ 255 & 0 & 80 \\ 255 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ $G = \begin{bmatrix} 0 & 160 & 80 \\ 255 & 255 & 160 \\ 0 & 255 & 0 \end{bmatrix}$ $B = \begin{bmatrix} 0 & 80 & 160 \\ 0 & 0 & 240 \\ 255 & 255 & 255 \end{bmatrix}$

15

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 305

常见颜色组合

- 黑色 RGB (0, 0, 0)
- 白色 RGB (255, 255, 255)
- 红色 RGB (255, 0, 0)
- 绿色 RGB (0, 255, 0)
- 蓝色 RGB (0, 0, 255)
- 黄色 RGB (255, 255, 0)
- 紫色 RGB (255, 0, 255)
- 青色 RGB (0, 255, 255)
- 暗灰色 RGB (128, 128, 128)
- 亮灰色 RGB (192, 192, 192)

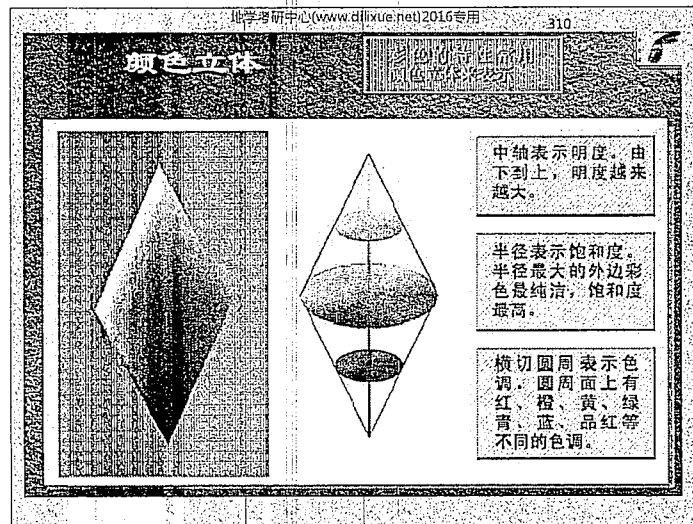
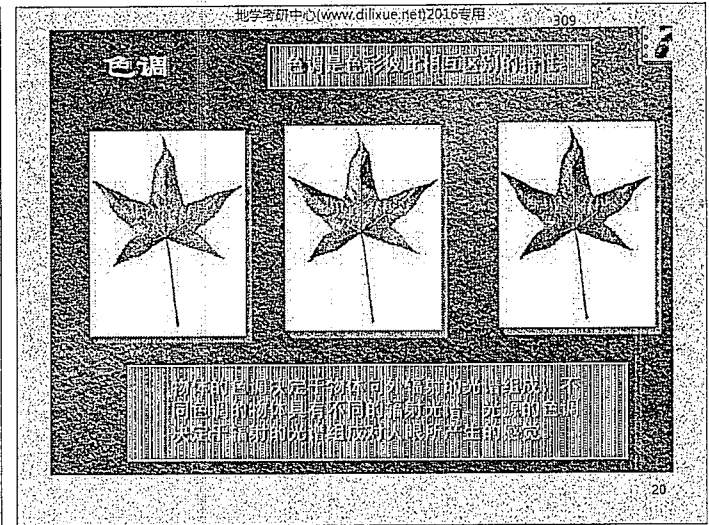
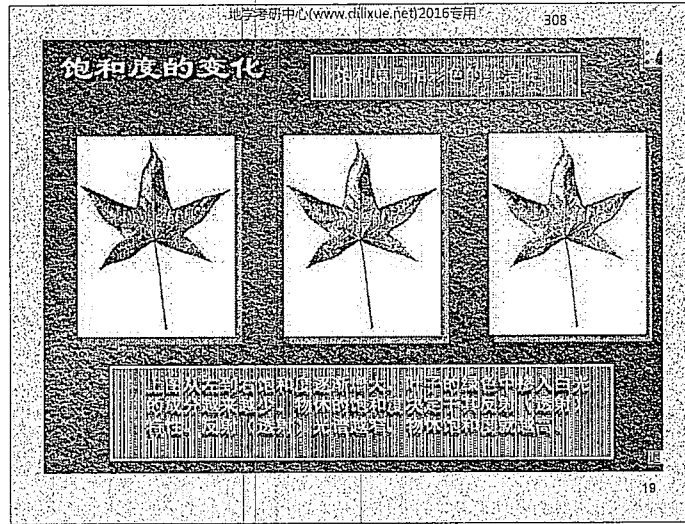
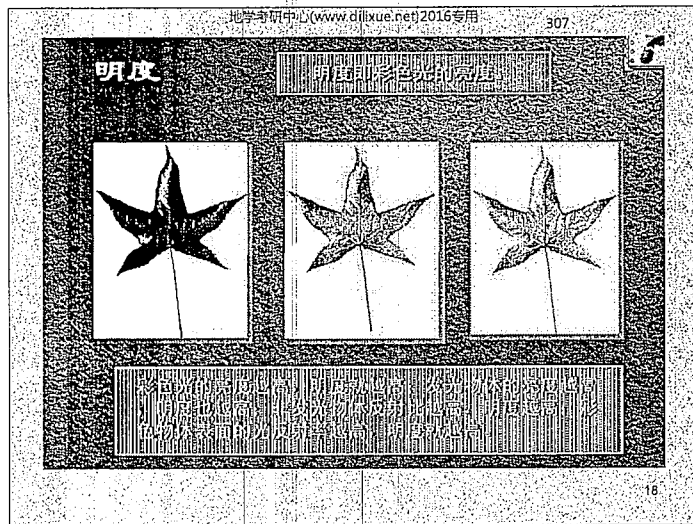
16

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 306

HSI模型

- HSI模型——量化颜色三属性
 - H色相：取值0-360
 - S饱和度：取值0-1或0-100
 - I亮度：取值0-1或0-100

17



311

RGB → HSI

$$H = \cos^{-1} \left\{ \frac{\frac{1}{2} [(R-G) + (R-B)]}{[(R-G)^2 + (R-B)(G-B)]^{0.5}} \right\}$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} * \min(R, G, B)$$

$$I = \frac{1}{3} (R + G + B)$$

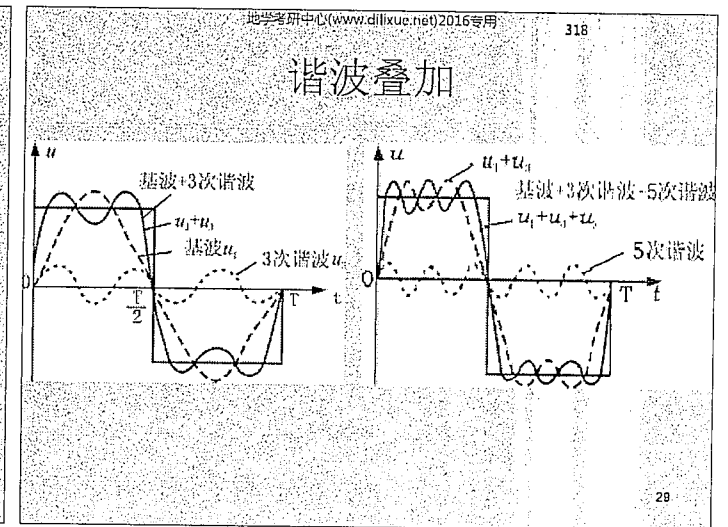
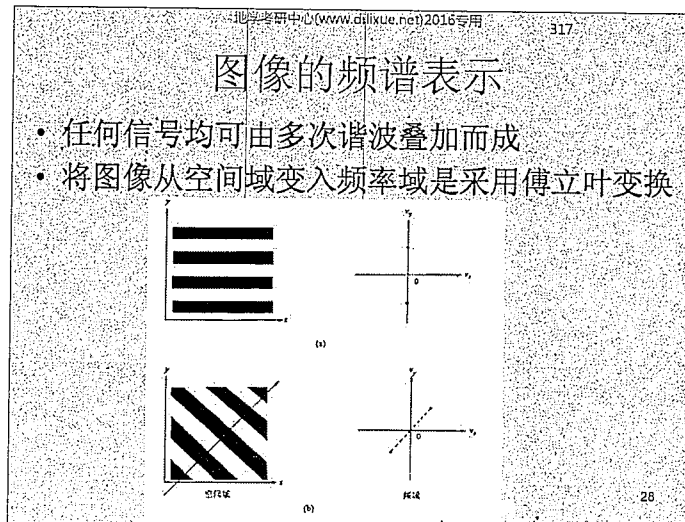
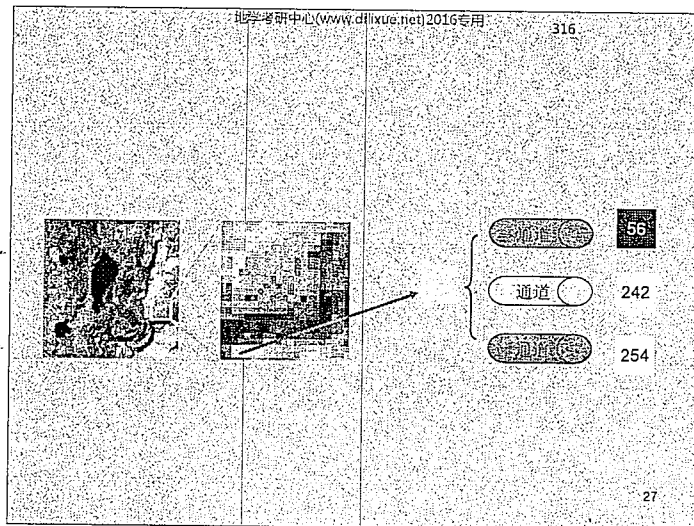
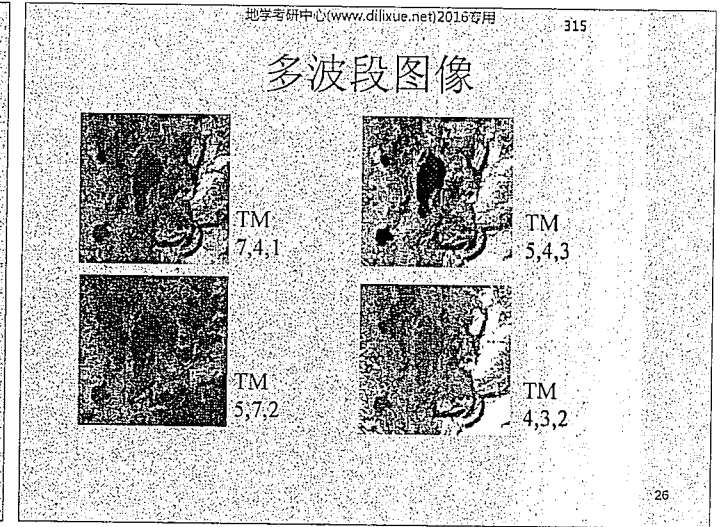
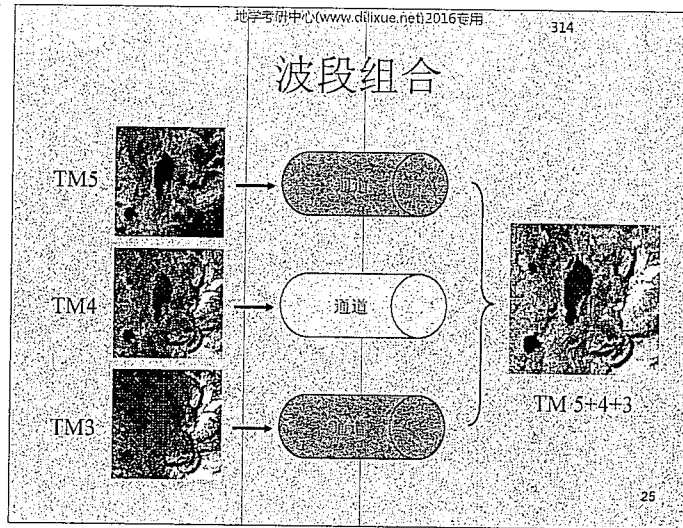
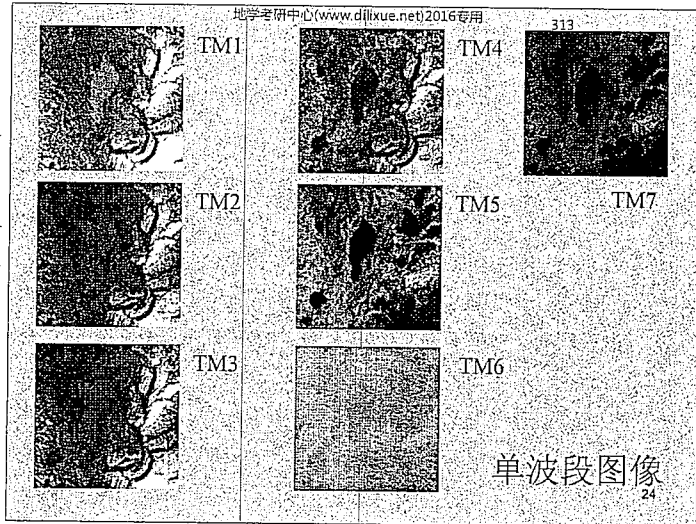
22

312

HSI → RGB

• $0^\circ < H \leq 120^\circ$	$B = (1-S) * I$ $R = [1 + \frac{S * \cos H}{\cos(60-H)}] * I$ $G = 3 * I - (R+B)$
• $120^\circ < H \leq 240^\circ$	$R = (1-S) * I$ $G = [1 + \frac{S * \cos(H-120)}{\cos(180-H)}] * I$ $B = 3 * I - (R+G)$
• $240^\circ < H \leq 360^\circ$	$G = (1-S) * I$ $B = [1 + \frac{S * \cos(H-240)}{\cos(300-H)}] * I$ $R = 3 * I - (G+B)$

23



319 周期信号的频谱

• 19世纪初叶，法国数学家吉·傅里叶证明：任何正常的周期为T的函数f(t)都可分解为无限个正弦和余弦函数的代数和，通常称为傅里叶级数。

$$f(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(2\pi nft) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(2\pi nft) dt$$

$$c = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt$$

30

320 周期信号的频谱

• 根据三角函数的运算法则

$$f(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

$$f(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n)$$

$$c_0 = \frac{1}{2}c$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$\tan \theta_n = \frac{a_n}{b_n}$$

31

321 周期信号的频谱

• 最后，由欧拉公式

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jn\omega_0 t}$$

$$c_n = \frac{1}{T_0} \int_{\frac{T_0}{2}}^{\frac{T_0}{2}} f(t) e^{-jn\omega_0 t} dt$$

32

322 周期信号的频谱

傅里叶系数

$$F_n = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-jn\Omega t} dt = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) e^{-jn\Omega t} dt$$

$$= \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \left[\frac{e^{-j(n\Omega t - \frac{\pi}{2})} - e^{-j(n\Omega t + \frac{\pi}{2})}}{-j} \right] dt$$

$$= \frac{1}{Tn\Omega} \sin \frac{n\Omega T}{2}$$

$$F_n = \frac{1}{nT} \sin \frac{n\Omega T}{2}, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

$$f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\Omega t} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{n\pi} \sin \frac{n\pi T}{T} e^{jn\Omega t}$$

33

323 周期信号的频谱

• 任何信号均由多次谐波叠加而成

• 我们通过仪器观察谐波时，只有由三角函数所描述的谐波 $A_k \cos(k\Omega t + \phi_k)$ 才能被观察到，而复指数谐波 $c_k e^{jk\Omega t}$ 是通过数学方法由前者构造而成，它不能被直接观察到。

• 两者的关系为

$$c_k e^{jk\Omega t} + c_{-k} e^{-jk\Omega t} = |c_k| e^{j\theta_k} e^{jk\Omega t} + |c_{-k}| e^{-j\theta_{-k}} e^{-jk\Omega t}$$

$$= |c_k| [e^{j(k\Omega t + \theta_k)} + e^{-j(k\Omega t + \theta_k)}]$$

$$= 2|c_k| \cos(k\Omega t + \theta_k)$$

$$c_k e^{jk\Omega t} + c_{-k} e^{-jk\Omega t} = A_k \cos(k\Omega t + \theta_k), A_k = 2|c_k|$$

34

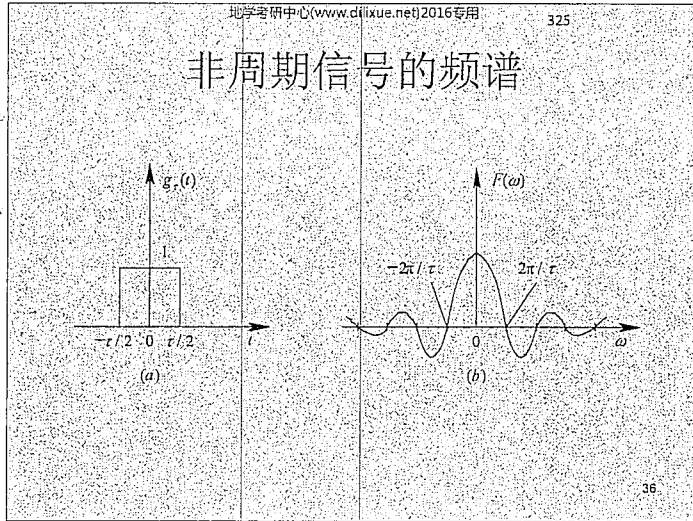
324 非周期信号的频谱

• 非周期信号可视为周期足够长的周期信号来处理。因此，我们可以从周期信号的频谱分析来推测非周期信号的频谱。

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

35



地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 326

离散傅里叶变换

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t} d\omega$$

$$F(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f(n) e^{-j2\pi\omega n/N}$$

$$f(n) = \sum_{\omega=0}^{N-1} F(\omega) e^{j2\pi\omega n/N}$$

37

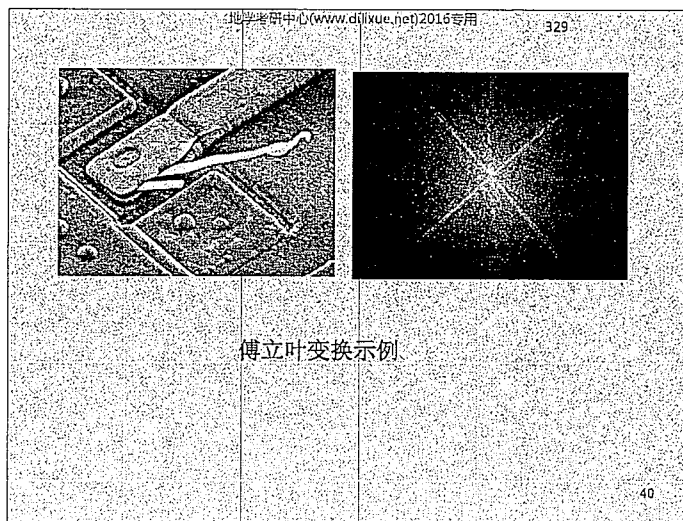
地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 327

二维离散傅里叶变换

$$F(v_x, v_y) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi \left(\frac{v_x x}{M} + \frac{v_y y}{N} \right)}$$

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{v_x=0}^{M-1} \sum_{v_y=0}^{N-1} F(v_x, v_y) e^{j2\pi \left(\frac{v_x x}{M} + \frac{v_y y}{N} \right)}$$

38



- 地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 330
- ### 4.2 遥感数字图像的存贮
- 存储介质
 - 存储格式
- 41

4.2.1 存贮介质

- 磁带
- 磁盘
- 光盘
- 闪存



磁带

- 用于记录声音、图像、数字或其他信号的载有磁层的带状材料。通常是在塑料薄膜带基(支持体)上涂覆一层颗粒状磁性材料(如针状 γ -Fe₂O₃磁粉或金属磁粉)或蒸发沉积上一层磁性氧化物或合金薄膜而成。
- 顺序存储介质。读取磁带上特定位置的记录需要通过该点以前的全部记录数据，数据处理起来较慢，所以通常只将它作为数据存贮之用，处理时需将其存贮的数据读入磁盘或内存中进行处理。
- 遥感中常用的CCT磁带，一般每卷的长度为731.52m，磁带宽12.7mm，厚0.05mm，磁道为9道，其中8位数据加1位奇偶校检位。

磁盘

- 磁盘是随机存储介质
- 磁盘分硬盘和软盘
- 硬盘由一个或者多个铝制或者玻璃制的碟片组成。这些碟片外覆盖有铁磁性材料
- 第一块硬盘IBM RAMAC 5MB
- 希捷2009年 单碟2500G
- 日立2010年 单碟5000G
- IDE SATA SCSI



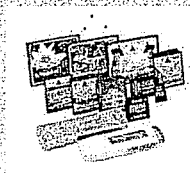
光盘

- CD (700MB)、DVD (4.7GB)、蓝光光盘 (25GB)
- CD-R、CD-RW
- DVD-R、DVD-RW、DVD+R、DVD+RW、DVD-R DL、DVD-RW DL、DVD+R DL、DVD+RW DL、DVD-RAM
- DVD+R要比DVD-R的兼容性好
- HD DVD VS 蓝光 DVD



闪存 (Flash Memory)

- FLASH芯片，目前最大容量为416GB
- 优点(启动快、不用磁头、相对固定的读取时间、写入速度极快、无噪音、发热量较低、不会发生机械故障、工作温度范围更大、体积小重量轻)
- MP3, U盘, CF卡, SD卡, MMC卡, 固态硬盘



4.2.2 存贮格式

- BSQ (Band SeQuential)：按照波段顺序依次记录各波段的图像
- BIL (Band Interleaved Line)：逐行按波段次序排列
- BIP (Band Interleaved by Pixel)：每个像元按波段次序交叉排序
- 其他常见图像数据格式：BMP, TIFF, GIF, PCX, PSD, MrSID, HDF,

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 337

BSQ	BIL	BIP
RRRRRRRRR	RRRRRRRRR	RGBRGBRG
RRRRRRRRR	GGGGGGGGG	RGBRGBRG
RRRRRRRRR	BBBBBBBBB	RGBRGBRG
GGGGGGGGG	RRRRRRRRR	RGBRGBRG
GGGGGGGGG	GGGGGGGGG	RGBRGBRG
GGGGGGGGG	BBBBBBBBB	RGBRGBRG
BBBBBBBBB		
BBBBBBBBB		
BBBBBBBBB		

48

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 338

a) BSQ b) BIL

Band 1 2 3

c) BIP

Band 1 2 3

band 1 address of Pixel
band 2 l: line number
band 3 l: pixel number

49

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 339

BMP

- BMP是一种与硬件设备无关的图像文件格式，使用非常广泛。它采用位映射存储格式，除了图像深度可选以外，不采用其他任何压缩，因此，BMP文件所占用的空间很大。
- BMP文件的图像深度可选1bit、4bit、8bit及24bit。BMP文件存储数据时，图像的扫描方式是按从左到右、从下到上的顺序。

文件头
调色板
图像数据

位图文件头结构 BITMAPFILEHEADER
位图信息头结构 BITMAPINFOHEADER
位图颜色表 RGBQUAD
位图像素数据

50

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 340

BITMAPFILEHEADER

```
typedef struct tagBITMAPFILEHEADER
{
    WORD bftype;           //文件类型，必须是“BM” 424D
    DWORD bfSize;         //文件大小，整个文件的字节数
    WORD bfReserved1;     //保留，必须为0
    WORD bfReserved2;     //保留，必须为0
    DWORD bfOffBits;     //从文件起始处到图象数据起始处
                        //的偏移字节数
} BITMAPFILEHEADER;
```

51

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 341

BITMAPINFO

```
typedef struct tagBITMAPINFO
{
    BITMAPINFOHEADER bmiHeader; //位图信息头
    RGBQUAD bmiColors[1];       //颜色表
} BITMAPINFO;
```

52

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 342

BITMAPINFOHEADER

```
typedef struct tagBITMAPINFOHEADER
{
    DWORD biSize;           //本结构的长度(字节数)
    LONG biWidth;          //位图的宽度(像素数)
    LONG biHeight;         //位图的高度(像素数)
    WORD biPlanes;         //位平面数，必须置为1
    WORD biBitCount;       //每个像素的位数
    DWORD biCompression;  //压缩类型
    DWORD biSizeImage;     //图象大小(字节数)
    LONG biXPelsPerMeter;  //设备的水平分辨率
    LONG biYPelsPerMeter;  //设备的垂直分辨率
    DWORD biClrUsed;       //实际用到的颜色表中的颜色
    DWORD biClrImportant; //显示位图所需的重要颜色数
} BITMAPINFOHEADER;
```

53

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 343

- $biSizeImage = biWidth * biHeight$;
- 'biWidth' 必须是4的倍数，这是由于DIB的每行都被填充到一个4字节边界，需要计算每行实际占用的位数
- 宏WIDTHBYTES将一个数与4字节对齐，便于计算DIB行的存储长度，表达为：
 $\#define WIDTHBYTES(bits) (((bits) + 31) / 32 * 4)$

54

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 344

RGBQUAD

```
typedef struct tagRGBQUAD
{
  BYTE rgbBlue;           //该颜色的蓝色分量
  BYTE rgbGreen;         //该颜色的绿色分量
  BYTE rgbRed;           //该颜色的红色分量
  BYTE rgbReserved;      //保留值
}RGBQUAD;
```

55

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 345

图像数据

- 位图数据记录了位图的每一个像素值，记录顺序是在扫描行内从左到右，扫描行之间是从下到上。位图图像数据存储与实际图像相反，是从底向上顺序逐行存放。位图的一个像素值所占的字节数：
 - 当biBitCount=1时，8个像素占1个字节；
 - 当biBitCount=4时，2个像素占1个字节；
 - 当biBitCount=8时，1个像素占1个字节；
 - 当biBitCount=24时，1个像素占3个字节；

56

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 346

查找表

- 如果一幅图像的每个像素都用其RGB分量来表示，那么所有的图像文件将变得非常庞大。实际的做法不完全是这样。对于2色、16色、256色图像采用了调色板技术，而对于24位真彩色以及以上的图像则没有调色板，即每个像素都用其RGB分量来表示。

57

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 347

查找表

- 对于一幅200*200的16色图像，它共有40000个像素，如果每一个像素都用RGB三个分量来表示，则整个图像需要 $200*200*3=120000$ 字节(120k)来保存(RGB每个分量有256个级别，需要8位来存储，即一个字节。那么3个分量就需要3个字节)。
- 对于16色图像，图中最多只有16中颜色，如果用一个颜色索引表：表中的每一行记录一种颜色的RGB值，当表示一个像素的颜色时，只需要指出该颜色在颜色索引表的第几行，即索引值便可以。每一个像素对应一个索引值，16中颜色只需要4位，即0.5字节存储，这样整个图像要用 $200*200*0.5=20000$ 字节，加上颜色表占用的 $3*16=48$ 字节，也不过20048字节(20k)。

58

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 348

查找表

- 这个颜色索引表就是调色板(Palette)，它有另外一个更确切的名称：颜色查找表LUT(Look Up Table)。在bmp,pcx,tif,gif格式文件中都用到了调色板技术。
- 然而，对于24位真彩色图像，就不使用调色板。因为24位颜色需要3个字节来存储，则调色板就有3字节，整个图像就需要用 $200*200*3=120000$ 字节(120k)来存储，这和直接用RGB三个分量表示用的字节数一样，不但没有节省空间，还要加上一个 $256*256*256*3$ 字节的“大”的调色板

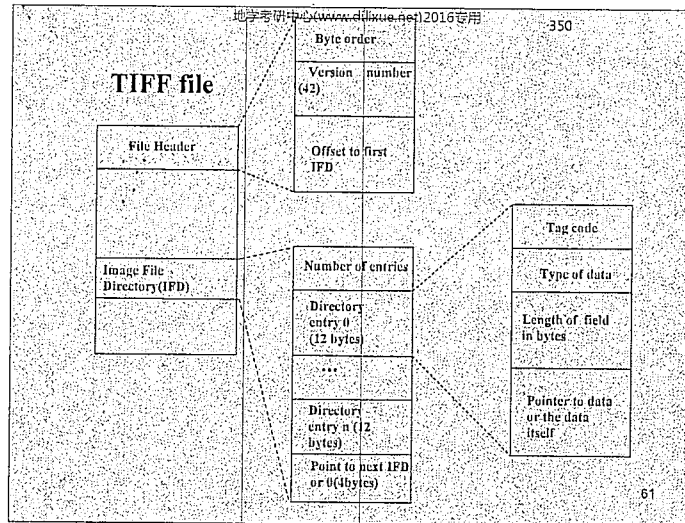
59

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 349

TIFF

- 标签化图像文件格式，Taggen-Image File Format (TIFF)
- 由Aldus公司与Microsoft公司共同开发设计的图像文件格式。TIFF格式可以存储多幅图像，TIFF图像数据可分割成几个部分分别存档，还能够提供多种不同的压缩数据的方法。

60



地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 351

- TIFF文件头占用8byte，其中“MM”和“II”分别表示Motorola和Intel字节顺序。Intel字节顺序按照从低位到高位顺序排序，而Motorola顺序按照相反的顺序排序。
- IFD的头两个字节给出目录的索引项的数目。紧接着就是目录。每个目录索引项都是一个保存有与相应标签化字段有关的信息的12byte结构。IFD以一个4byte的值结束。该值为0，表示最后一个IFD的结束，否则它就是指向另一个IFD的指针。

62

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 352

Tag标签

TagName	Decimal	Hex	Type	Value
ImageWidth	256	100	SHORT or LONG	
ImageLength	257	101	SHORT or LONG	
BitsPerSample	258	102	SHORT	4 or 8
Compression	259	103	SHORT	1 or 32773
PhotometricInterpretation	262	106	SHORT	0 or 1
StripOffsets	273	111	SHORT or LONG	
RowsPerStrip	278	116	SHORT or LONG	
StripByteCounts	279	117	LONG or SHORT	
XResolution	282	11A	RATIONAL	
YResolution	283	11B	RATIONAL	
ResolutionUnit	296	128	SHORT	1 or 2 or 3

63

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 353

Offset (hex)	Description	Value
0000	Byte Order	4144D
0002	42	002A
0004	1st IFD offset	00000014
IFDs		
0014	Number of Directory Entries	00000001
0016	NewSubfileType	00000000
0022	ImageWidth	0100 0104 00000001 00000100
002F	ImageLength	0101 0104 00000001 00000100
003A	Compression	0103 0103 00000001 00010000
0046	PhotometricInterpretation	0106 0103 00000001 00000100
0052	StripOffsets	0110 0104 00000001 00000100
005E	RowsPerStrip	0111 0104 00000001 00000100
006A	StripByteCounts	0117 0103 00000001 00000100
0076	XResolution	011A 0103 00000001 00000100
0082	YResolution	011B 0103 00000001 00000100
008E	Software	011E 0103 00000001 00000100
009A	DateTime	0132 0102 00000001 00000100
00A6	Next IFD offset	00000000
Values longer than 4 bytes		
00B5	StripOffsets	Offset0, Offset1, ... Offset187
00B6	StripByteCounts	Count0, Count1, ... Count187
0096	XResolution	0000012C 00000001
007E	YResolution	0000012C 00000001
00A6	Software	"PageMaker 4.0"
00B6	DateTime	"1985:02:18 13:59:59"
Image Data:		
00000100	Compressed data for strip 10	
xxxxxxx	Compressed data for strip 179	
xxxxxxx	Compressed data for strip 53	
xxxxxxx	Compressed data for strip 160	

64

地学考研中心(www.dilixue.net)2016专用 354

JPG

- JPEG是Joint Photographic Experts Group(联合图像专家组)的缩写，文件后缀名为“jpg”或“jpeg”
- 支持多种压缩级别，压缩比率通常在10:1到40:1之间

65

地理学研究中心(www.dilixue.net)2016专用 355

GIF

- GIF (Graphics Interchange Format) 的原义是“图像互换格式”
- 基于LZW算法的连续色调的无损压缩格式。其压缩率一般在50%左右，最高压缩比可达到3: 1
- GIF的图像深度支持从1bit到8bit

66

地理学研究中心(www.dilixue.net)2016专用 356

HDF

- HDF(Hierarchical Data Format), 层次型数据格式。
- 可以存储不同类型的图像和数码数据的文件格式，并且可以在不同类型的机器上传输，同时还有统一处理这种文件格式的函数库。

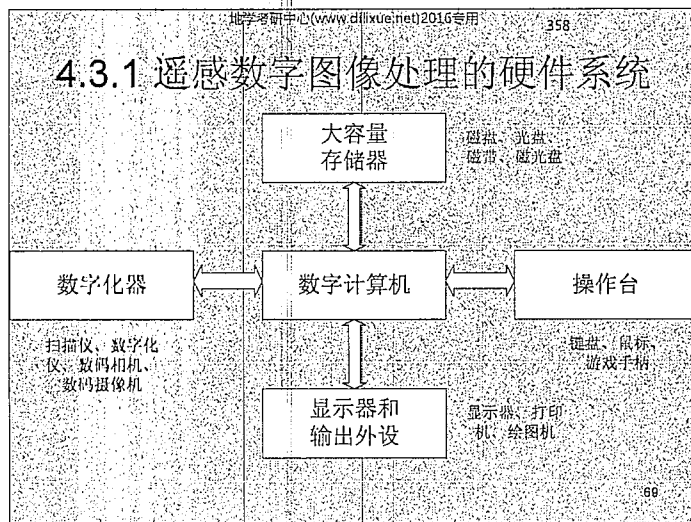
67

地理学研究中心(www.dilixue.net)2016专用 357

4.3 遥感数字图像处理系统

- 硬件系统
- 软件系统

68



地理学研究中心(www.dilixue.net)2016专用 359

4.3.2 遥感数字图像处理的软件系统

- ERDAS
- PCI
- ENVI

70

地理学研究中心(www.dilixue.net)2016专用 360

ERDAS IMAGINE

- 美国ERDAS公司开发
- 现由Leica收购
- 模块化

71