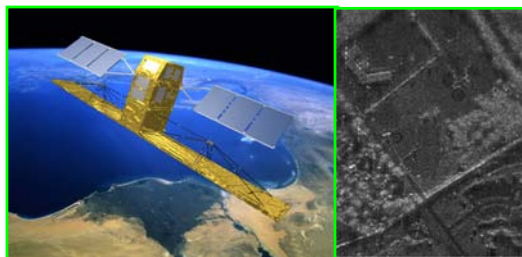


合成孔径雷达成像及处理

第一讲



北京航空航天大学电子信息工程学院
孙进平 (82317240) sunjp2000@263.net



参考书目

张澄波, 合成孔径雷达: 原理、系统分析与应用。科学出版社, 1989年

刘永坦等, 雷达成像技术, 哈尔滨工业大学出版社, 1999年

魏钟铨等, 合成孔径雷达卫星, 科学出版社, 2001年

黄永红, 星载合成孔径雷达成像处理与运动补偿, 北航博士论文, 1992

贾洪江, 机载合成孔径雷达成像算法研究与实现, 北航硕士论文, 1998年

John C. Curlander, et al., *Synthetic Aperture Radar System and Signal Processing*. John Wiley & Sons, INC., 1991.

Carrara W. G., et al., *Spotlight Synthetic Aperture Radar: Signal Processing Algorithms*. Artech House, 1995



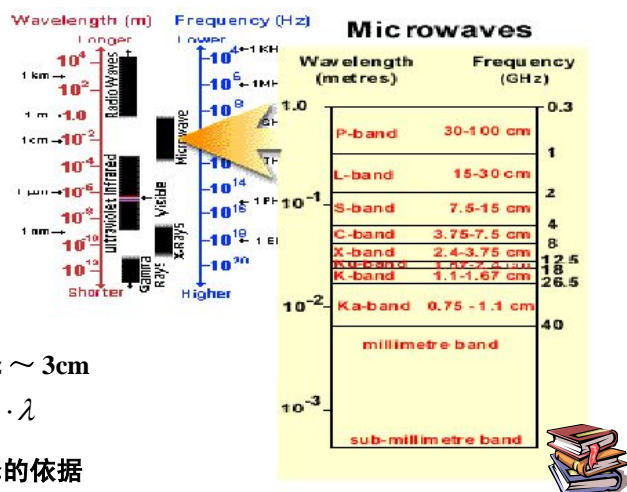
C. V. Jakowatz et al, *Spotlight-Mode Synthetic Aperture Radar: A Signal Processing Approach*, Kluwer Academic Publishers, Norwell Mass., 1996

Chris Oliver et al, *Understanding Synthetic Aperture Radar Images*, Artech House, 1998

Mehrdad Soumekh, *Synthetic Aperture Radar Signal Processing: with MATLAB Algorithms*, John Wiley & Sons, INC., 1999



基本知识—频段



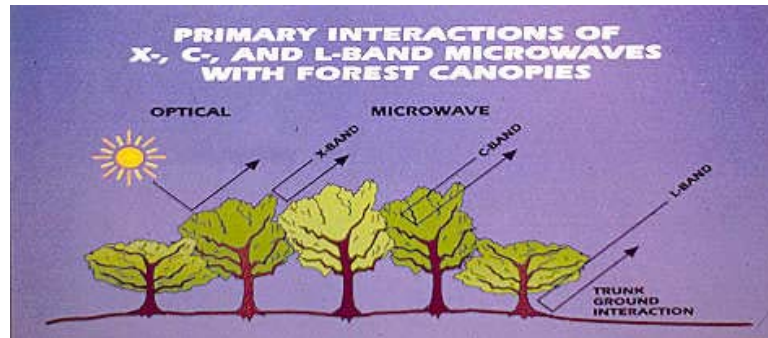


表 7.6 各种应用的综合孔径雷达参数

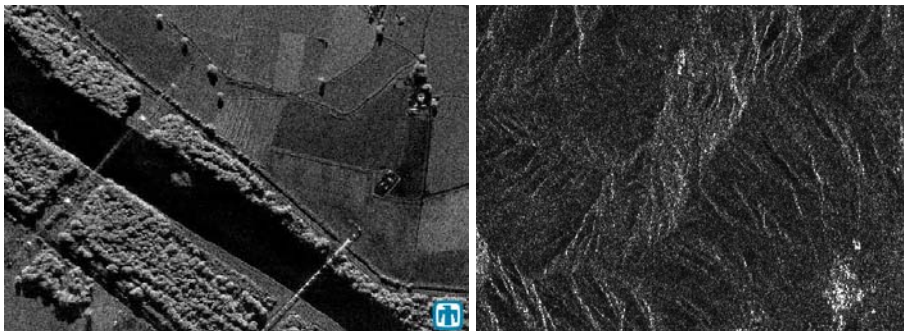
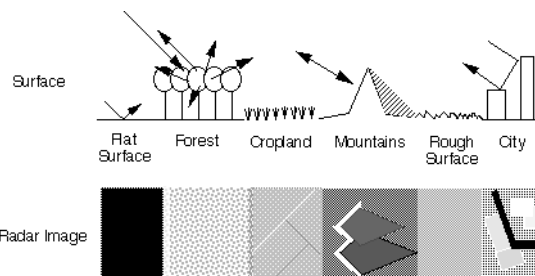
应用	入射角(度)	最佳工作频率	是否需多频工作	极化要求
地质及矿物资源应用				
结构	山区约 45°, 在平原区 小掠地角	不重要, 为了穿透植被, 频率低些为好	Ku 波段只显示植被结构形迹, L 波段用来穿透植被	VV 或 HH
岩性学	10° 至 20° 或在 20°—70° 中任意值	未知, 为了穿透植被频率低些为好	未知, 但希望多频段工作	VV 或 HH
结构材料	10° 至 20° 或在 20°—70° 中任意值	未知, 为了穿透植被频率低些为好	未知, 但希望多频段工作	VV 或 HH
道路或水坝定位	山区约 45°, 平原区 小掠地角	未知, 为了穿透植被频率低些为好	希望一高工作频率和一低工作频率	VV 或 HH

农业及自然植被应用

作物鉴别	30°-70°	14000MHz	需要9000,14000及17000MHz	同极化或交叉极化
作物及牧草				
生长状态	30°-70°	>8000MHz	需要 待定	单极化
病态	30°-70°	>8000MHz	需要 待定	单极化
土壤湿度	5°-20°	4000-5000MHz	大概无 待定	单极化
田界	30°-70°	>8000MHz	大概无 待定	同极化或交叉极化
耕作效果	30°-80°	大概无	大概无 待定	同极化或交叉极化
自然植被	30°-70°	>8000MHz	需要 待定	同极化或交叉极化
森林村庄				
鉴别	20°-70°	待定	需要 待定	同极化或交叉极化
状态	20°-70°	待定	需要 待定	同极化或交叉极化
侵蚀	30°-80°	大概无待定	无	单极化
灌溉	5°-20°	4000-5000MHz	大概无 待定	单极化



基本知识—SAR图像特性



基本知识—分辨率

SAR的出现扩展了原始的雷达概念，使之具有了对目标进行成像和识别的能力

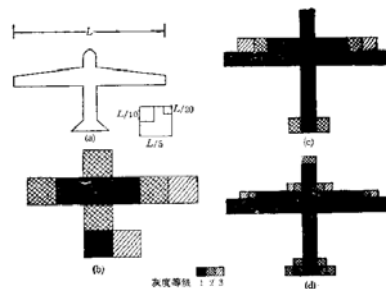


图 7-3 名义分辨率和外形轮廓分辨
(a) 目标外形；(b) 分辨率为 $L/5$ 时的雷达图像；(c) 分辨率为 $L/10$ 时的雷达图像；(d) 分辨率为 $L/20$ 时的雷达图像 ...

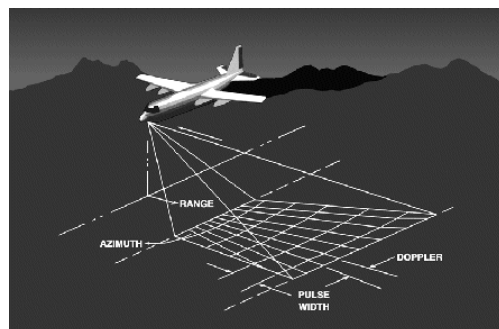
要求分辨目标及雷达分辨率

要求分辨的目标(用户要求)	雷达名义分辨率
城市轮廓,山脉轮廓,检测大的点目标	150—200m
检测大多数高速公路(图像中有某些衰落现象),各种农田,大机场	25—35m
城市街道结构,可靠地检测高速公路大建筑物的形状,小型机场	10—20m
可靠地检测船只,载重车辆,房屋建筑物等	2—6m

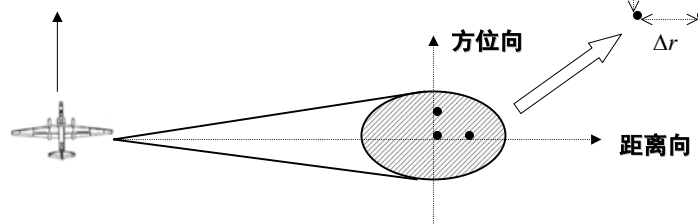
检测目标 $L/5$
形状辨认 $L/20$



基本知识—分辨率



距离向:Range / Cross Track
方位向:Azimuth / Along Track



距离向一脉冲压缩

脉冲压缩是雷达提高视向分辨率的最常用方法

旧的矩形脉冲—原理和局限

模糊函数理论：

雷达的距离分辨率 ρ_r 由雷达信号带宽 B_r 决定，且有： $\rho_r = c/2B_r$ 。其中 c 为光速。在这一理论指导下，人们可以设计这样的波形：它既具有较长的持续时间以便获得较大的平均功率，从而获得较远的雷达作用距离；又具有较大的信号带宽，以便获得较好的距离分辨率。



距离向一脉冲压缩

有多种信号波形能满足这些要求，其中模拟线性调频脉冲信号（又称为Chirp信号）是其中较为成熟并应用广泛的一种。Chirp信号经过压缩（通过匹配滤波或谱分析的方法）可以得到理论上的高分辨率。

脉冲宽度为 T_p ，调频率为 k_r 的模拟脉冲线性调频信号的形式为：

$$s(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_p}\right) \exp(j2\pi f_c t + j\pi k_r t^2)$$

接收机接收回波后先要利用微波器件去除载频，得到中频信号或者称为视频信号（Video Signal），然后分成I、Q通道分别进行A/D转换，得到要处理的雷达回波复信号的实部和虚部。



距离向一脉冲压缩

Chirp信号的频谱—**驻定相位原理**

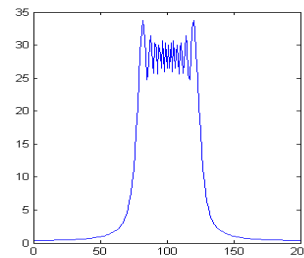
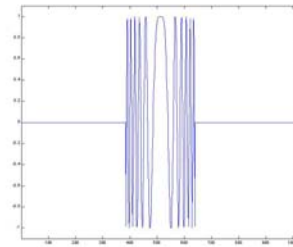
$$s(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_p}\right) \exp(j\pi k_r t^2)$$



$$S(f) = \text{rect}\left(\frac{f}{B_r}\right) \exp(-j\pi \frac{f^2}{k_r})$$

在频域实现匹配滤波

利用使用FFT快速计算



距离向一脉冲压缩

如果对Chirp信号采用匹配滤波的方法进行脉冲压缩，得到输出信号

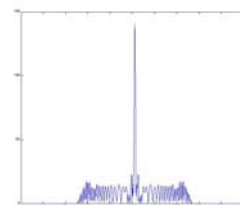
$$C_s(\tau) = \sqrt{k_r} (T_p - |\tau|) \text{sinc}[k_r \tau (T_p - |\tau|)] \exp(j2\pi f_c \tau)$$

包络的主瓣半功率宽度为

$$\tau_0 = \frac{1}{k_r T_p} = \frac{1}{B_r}$$

脉冲压缩比为

$$r = \frac{T_p}{\tau_0} = B_r T_p$$



就是Chirp信号的时间带宽积



距离向一脉冲压缩

根据信号包络的主瓣半功率宽度来定义的邻近目标名义距离分辨率

距离向理论分辨率

$$\rho_r = \frac{c\tau_0}{2} = \frac{c}{2B_r}$$



MATLAB 源代码:

Chirp信号示例:

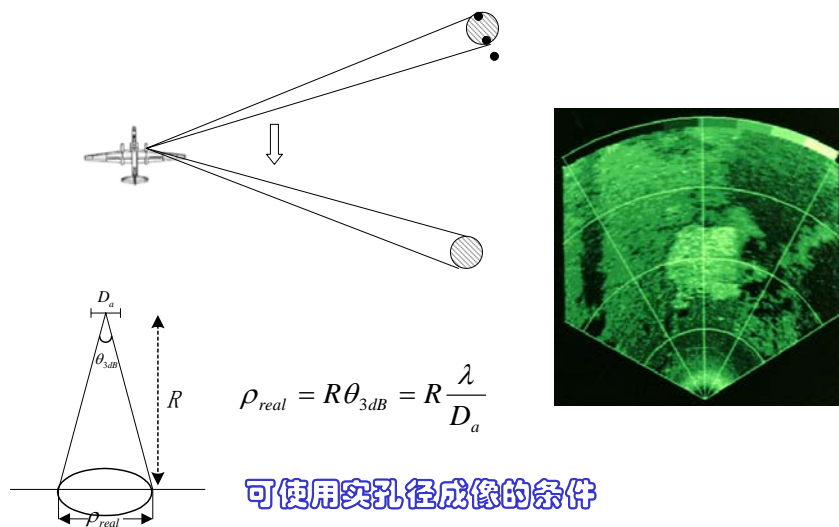
chirp_sig.m

脉冲压缩示例:

range_compress.m



实孔径雷达成像



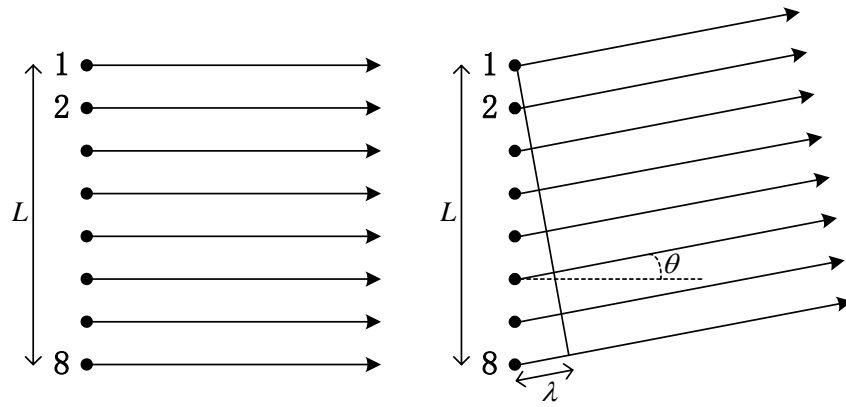
可使用实孔径成像的条件

实孔径成像的优点



最基本的问题

如何去理解: $\rho_{real} = R\theta_{3dB} = R \frac{\lambda}{D_a}$



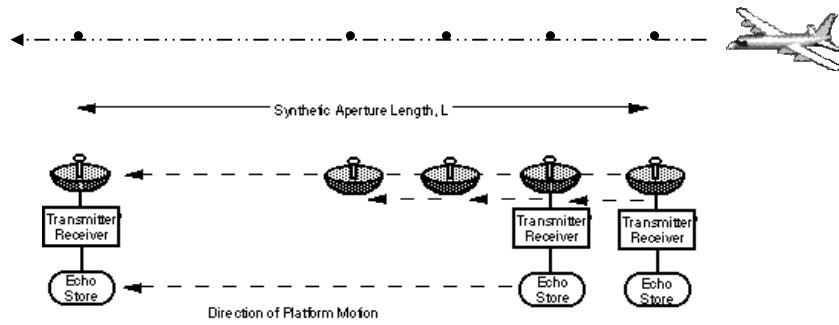
Stimson *“Introduction to Airborne Radar”*,
Second Edition

机载雷达导论，电子工业出版社

合成一个大孔径尺寸的虚拟天线

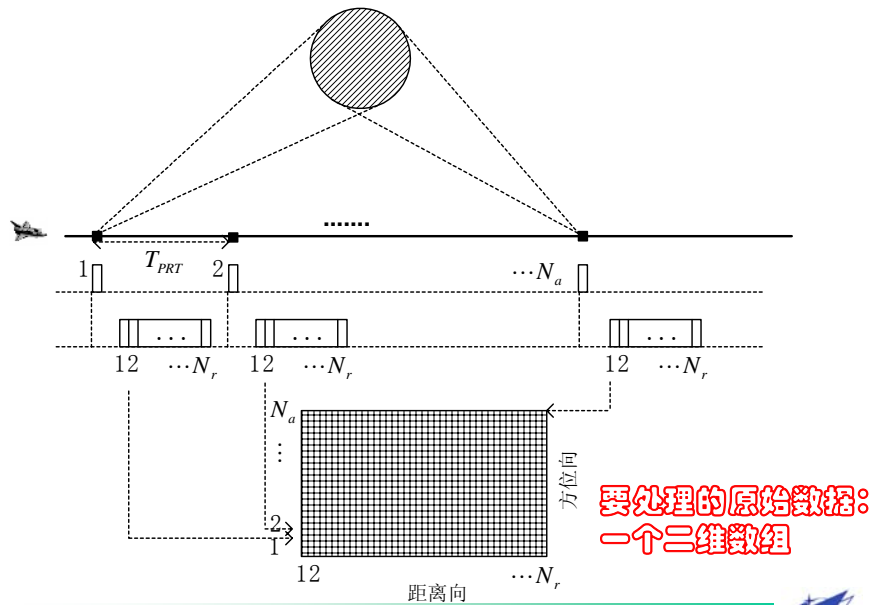
脉冲多普勒工作方式

脉冲重复频率 PRF ，载机速度 V



将每个航迹位置上的回波存储起来

采集得到的回波数据



要处理的原始数据：
一个二维数组